



SKRIPSI – TK 141581

**PEMURNIAN BIOGAS MENJADI
BIOMETANA DAN *PRECIPITATED*
CALCIUM CARBONATE (PCC) DENGAN
METODE *BUBBLE COLUMN***

Hafizh Pandega Bonifalih

NRP. 02211340000006

Fuad Makarim Imran

NRP. 02211340000173

Dosen Pembimbing :

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.

NIP. 195209161980031002

Suci Madha Nia, S.T., M.T.

NIP. 197502142008122003

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT – TK 141581

**PURIFICATION OF BIOGAS INTO
BIOMETHANE AND PRECIPITATED
CALCIUM CARBONATE (PCC) USING
BUBBLE COLUMN**

Hafizh Pandega Bonifalih

NRP. 02211340000006

Fuad Makarim Imran

NRP. 02211340000173

Advisors :

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.

NIP. 195209161980031002

Suci Madha Nia, S.T., M.T.

NIP. 197502142008122003

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMURNIAN BIOGAS MENJADI BIOMETANA DAN *PRECIPITATED CALCIUM CARBONATES (PCC)* DENGAN METODE *BUBBLE COLUMN*

Diajukan Untuk Memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Hafizh Pandega Bonifalih

02211340000006

Fuad Makarim Imran

02211340000173

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.
(Pembimbing I)
2. Suci Madha Nia, S.T., M. T
(Pembimbing II)
3. Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng.
(Penguji I)
4. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M. Eng.
(Penguji II)
5. Prida Novarita T., S.T., M. T
(Penguji III)



PEMURNIAN BIOGAS MENJADI BIOMETANA DAN *PRECIPITATED* *CALCIUM CARBONATE (PCC)* DENGAN METODE *BUBBLE COLUMN*

Nama : Hafizh Pandega Bonifalih
(02 211 340 000 006)
Fuad Makarim Imran
(02 211 340 000 173)
Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Ir Sugeng Winardi, M.Eng
Dr. Suci Madha Nia, S.T., M.T

ABSTRAK

Sebagai energi terbarukan yang menjajikan, biogas dapat membantu meringankan beban pencemaran lingkungan dan krisis energi. Pemurnian biogas adalah salah satu kunci teknologi dalam pengembangan utilisasi biogas. Secara khusus, penghilangan CO₂ dalam biogas dapat meningkatkan nilai kalornya untuk memenuhi standar *Compressed Natural Gas* (CNG), sebagai bahan bakar masa depan yang sangat penting. Dalam penelitian ini, biogas yang dihasilkan dari hibah instalasai reaktor biogas di Dusun Podorejo, Desa Sajen, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto dimurnikan dengan dilewatkan melalui larutan Ca(OH)₂ dalam alat kolom gelembung (*bubble column contactor*) dengan menghasilkan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). Pengaruh laju alir biogas pada waktu kontak terhadap kualitas dan kuantitas PCC akan dipelajari dalam penelitian ini. Kolom gelembung (diameter = 7 cm) diisi larutan Ca(OH)₂ setinggi 20 cm. Biogas dialirkan melalui distributor pada laju volumetric 0.1-0.5 liter/menit hingga pH larutan dalam kolom gelembung menjadi 6-7. PCC yang terbentuk diendapkan, disaring kemudian

dikeringkan dalam oven. Karakterisasi dengan XRD menunjukkan bahwa diantara tiga bentuk kristal (*calcite*, *vaterite*, dan *aragonite*), *calcite* adalah yang paling stabil. Untuk menyelidiki pengaruh gas metan dan gas-gas lain dalam biogas terhadap pembentukan PCC, gas karbon dioksida murni digunakan sebagai pembanding.

Kata Kunci: Biogas, Kolom gelembung, Precipitated Calcium Carbonate (PCC), Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

**PEMURNIAN BIOGAS MENJADI BIOMETANA DAN
PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE (PCC)
DENGAN METODE BUBBLE COLUMN**

**Nama : Hafizh Pandega Bonifalih
(02 211 340 000 006)**

**Fuad Makarim Imran
(02 211 340 000 173)**

Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS

**Pembimbing : Prof. Dr. Ir Sugeng Winardi, M.Eng
Dr. Suci Madha Nia, S.T., M.T**

ABSTRACT

As a promising renewable energy, biogas can help alleviate environmental pollution and energy crises. Biogas purification is one of the key technology in the development stage of biogas utilization. The removal of carbon dioxide (CO₂) in biogas can increase its calorific value, in order to meet the compressed natural gas (CNG) standard, as a very important fuel in the future. In this study, the biogas produced from the biogas reactor installation in Dusun Podorejo, Desa Sajen, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto granted from ITS was purified by passing through a solution Ca(OH)₂ in a bubble column contactor to produce precipitated calcium carbonate (PCC). The effect of biogas flow rate on contact time, PCC quality is experimentally studied. The bubble column (diameter = 7 cm) filled with saturated Ca(OH)₂ as high as 20 cm. Biogas is passing through the distributor at a volumetric rate of 0.1-0.5 liters/ minute until the solution PH in the bubble column becomes 6-7. The formed PCC is precipitated, filtered and then dried in an oven. Characterization of PCC using XRD shows that between the three crystalline forms (calcite, vaterite and aragonite), calcite is the

most stable. To investigate the effect of methane gas and other gases in biogas on the formation of PCC, pure carbon dioxide gas is used as a benchmark.

Keyword: Biogas, Bubble column, Precipitated Calcium Carbonate (PCC), Ca(OH)_2 solution.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Skripsi kami yang berjudul:

**“PEMURNIAN BIOGAS MENJADI BIOMETANA DAN
*PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE (PCC) DENGAN
BUBBLE COLUMN*”**

Laporan Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Strata-1 di Departemen Teknik Kimia - Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari dalam penyusunan Laporan Skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang tua serta saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng selaku Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, Teknik Kimia FTI-ITS.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng dan Ibu Suci Madha Nia, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, Departemen Teknik Kimia FTI-ITS, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
5. Bapak Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng. dan Dr Tantular Nurtono S.T., M.Eng., selaku dosen penguji Seminar Proposal Skripsi, Ujian *Poster Paper*, dan Seminar Skripsi.
6. Ibu Prida Novitasari Trisanti, S.T., M.T. selaku dosen penguji Ujian *Poster Paper* dan Seminar Skripsi.

7. Seluruh dosen Teknik Kimia ITS atas semua ilmu serta bimbingan selama kami menempuh pendidikan S1.
8. Karyawan Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran Departemen Teknik Kimia FTI-ITS, Bang Farid Indra, S.T., atas dedikasinya dalam membantu segala kebutuhan eksperimen skripsi ini.
9. Yukh Ihsana S.T., yang mengawasi dan memberikan pengarahan saat menjalankan penelitian.
10. Teman-teman kami di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran yang telah berjuang bersama menyelesaikan tugas akhir.
11. Teman-teman angkatan K-53 Teknik Kimia ITS yang memberi semangat dan dukungan.
12. Beberapa pihak lain yang tidak bisa kami paparkan satu persatu yang telah membantu kami.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis. Akhir kata kami selaku penulis memohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini terdapat kesalahan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | |
| LEMBAR PENGESAHAN | |
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL | viii |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| I.1 Latar Belakang..... | 1 |
| I.2 Rumusan Masalah/Hipotesa | 2 |
| I.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| I.4 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| II.1 Biogas..... | 5 |
| II.2 Teknologi Penangkap CO ₂ | 6 |
| II.3 Teknologi Permungan Biogas..... | 10 |
| II.4 <i>Precipitated Calcium Carbonate</i> (PCC) | 15 |
| II.5 Polimorf <i>Precipitated Calcium Carbonate</i> (PCC) | 17 |
| II.6 <i>Microbubbles</i> | 20 |
| II.7 <i>Gas hold up</i> | 21 |
| II.8 Penelitian Terdahulu | 21 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| III.1 Bahan dan Peralatan Penelitian..... | 25 |
| III.2 Variabel dan Kondisi Operasi..... | 27 |
| III.3 Prosedur Percobaan..... | 28 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| IV.1 Pengaruh Laju Alir Gas pada Proses Karbonasi | 29 |

| | |
|---|----|
| IV.2 Pengaruh Diameter <i>Perforated Gas Distributor</i> Terhadap Rendemen PCC | 35 |
| IV.3 Pengaruh Ketinggian Larutan Ca(OH)_2 | 36 |
| IV.4 Kristalinitas PCC | 39 |
| IV.5 Morfologi Partikel PCC | 40 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | |
| V.1 Kesimpulan | 51 |
| V.2 Saran | 52 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| DAFTAR NOTASI | |
| APPENDIKS | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar II.1 Skema metode penangkap CO ₂ | 8 |
| Gambar II.2 Diagram alir teknologi <i>water scrubbing</i> | 9 |
| Gambar II.3 Diagram alir teknologi penyerapan kimiawi..... | 10 |
| Gambar II.4 Diagram alir <i>pressure-swing adsorption</i> | 11 |
| Gambar II.5 Diagram alir pemisahan membran | 13 |
| Gambar II.6 Sintesa PCC melalui metoda kaustik soda | 14 |
| Gambar II.7 Sintesa PCC dengan metode karbonasi..... | 15 |
| Gambar II.8 <i>Calcite</i> PCC | 16 |
| Gambar II.9 <i>Aragonite</i> PCC | 16 |
| Gambar II.10 <i>Vaterite</i> PCC | 17 |
| Gambar III.1 Skema alat pembuatan PCC | 23 |
| Gambar III.1 Pola distributor | 23 |
| Gambar IV.1 Perubahan pH terhadap waktu karbonasi..... | 27 |
| Gambar IV.2 Konversi CaO terhadap laju alir gas | 28 |
| Gambar IV.3 <i>Yield</i> CaCO ₃ terhadap laju alir gas | 28 |
| Gambar IV.4 Pengaruh diameter distributor terhadap rendemen PCC | 31 |
| Gambar IV.5 Perubahan pH terhadap waktu karbonasi..... | 32 |
| Gambar IV.6 Konversi CaO terhadap tinggi <i>liquid</i> | 33 |
| Gambar IV.7 <i>Yield</i> CaCO ₃ terhadap tinggi <i>liquid</i> | 33 |
| Gambar IV.8 Hasil analisa XRD PCC..... | 34 |

| | |
|---|----|
| Gambar IV.9 Hasil analisa <i>SEM</i> PCC | 35 |
| Gambar IV.10 Distribusi partikel PCC..... | 37 |
| Gambar IV.11 Pengaruh laju alir gas terhadap diameter partikel.. | 38 |
| Gambar IV.12 Hasil analisa <i>SEM</i> PCC pada laju alir 0.4 LPM | 38 |
| Gambar IV.13 Distribusi partikel PCC pada laju alir 0.4 LPM..... | 39 |
| Gambar IV.14 Pengaruh laju alir gas terhadap diameter partikel.. | 40 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------------|--|---|
| Tabel II.1 | Komposisi biogas secara umum | 4 |
| Tabel II.2 | Metode penangkap CO ₂ | 7 |

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Biogas adalah sumber energi yang terbarukan dimana dapat membantu meringankan pencemaran lingkungan dan mengurangi krisis energi. Sehingga permintaan pasar meningkat secara global. Pemurnian pada biogas merupakan kunci teknologi dalam pengembangan utilisasi biogas. Secara khusus, penghilangan CO_2 dalam biogas dapat meningkatkan nilai kalornya untuk memenuhi standar *compressed natural gas* (CNG).

Secara umum biogas memiliki kandungan 55 hingga 70% metana CH_4 , 30 hingga 45 % karbondioksida (CO_2), air dan H_2S . keberadaan CO_2 yang cukup besar dalam kandungan biogas dapat menurunkan nilai kalorinya, kecepatan nyala api, dan batas mudah terbakar dibandingkan dengan gas alam. Selain itu, transportasi biometana pada jarak jauh lebih murah daripada transportasi CO_2 yang larut dalam biogas. Untuk mengubah biogas menjadi biometana, dibutuhkan dua tahap proses yaitu proses pembersihan untuk menghilangkan komponen sisa dan pemurnian proses (*upgrading*) untuk menghilangkan CO_2 dalam biogas.

Teknologi yang saat ini banyak digunakan untuk menangkap gas CO_2 antara lain *water scrubbing*, penyerapan kimiawi, *pressure swing adsorption*, dan *membrane separation*. Namun, karena untuk menangkap gas CO_2 dengan cara yang telah disebutkan sebelumnya akan terlepas kembali, cara pendekatan lain yang lebih ekonomis dibutuhkan untuk merubah CO_2 menjadi produk. Dengan mereaksikan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan CO_2 dan menghasilkan produk samping *precipitated calcium carbonates* (PCC). (Xi Liu et.al, 2015)

Precipitated calcium carbonates (PCC) digunakan sebagai bahan tambahan untuk tinta, plastik, lem. Kertas dan industri karet. Dalam aplikasinya, PCC yang dibutuhkan dalam

industri memiliki distribusi ukuran yang kecil, seragam, dan memiliki kristalinitas yang baik. PCC murni mempunyai 3 bentuk kristal yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit yang masing-masing memiliki morfologi *rhombohedral*, *hexagonal*, dan *orthorhombic*. Kalsit lebih stabil dari kristal pada suhu dan tekanan ambien. Sedangkan vaterit adalah fase yang paling tidak stabil dari kedua fase kristal yang telah disebutkan. (Clifford Y Tai, 2008)

Precipitated calcium carbonat (PCC) dapat di sintesis dari batu kapur dengan tiga metode yaitu metode karbonasi, metode kaustik soda, dan metode *solway*. Pada metode kaustik batu kapur dikalsinasi menjadi CaO , lalu dihidrasi menjadi Ca(OH)_2 dan kemudian direaksikan dengan larutan natrium karbonat (Na_2CO_3) sehingga terbentuk *precipitated calcium carbonat* (PCC). Akan tetapi pada metode ini rendemen PCC yang dihasilkan relatif, karena dibatasi oleh kelarutan Ca(OH)_2 yang kecil. (Novesar et.al, 2007)

Metoda karbonasi banyak digunakan di berbagai industri dikarenakan memiliki prosedur pembuatan yang sederhana, biaya pembuatan rendah, produk yang dihasilkan lebih banyak, dan kemurnian yang lebih tinggi. Namun, proses pada metoda karbonasi lebih lamban jika dibandingkan dengan metoda kaustik soda, karena rendahnya kelarutan CO_2 yang digunakan untuk sintesis PCC dalam air. Sintesis *precipitated calcium carbonat* oleh metode karbonasi adalah salah satu yang paling efisien dan sederhana sehingga banyak digunakan oleh berbagai industri saat ini. (Ominisi et.al, 2017)

I.2 Rumusan Masalah

Masalah umum yang terjadi adalah indonesia masih melakukan impor PCC untuk keperluan industri cat, kertas, karet, makanan, kosmetik, dan farmasi. Kandungan gas CO_2 yang terdapat dalam biogas relatif besar dan belum termanfaatkan secara maksimal. Pada penelitian ini memberikan alternatif untuk memanfaatkan gas CO_2 yang terdapat dalam biogas dengan cara mereaksikan biogas dengan larutan Ca(OH)_2 untuk membentuk

Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dan membandingkan pengaruh distributor gas terhadap *yield*, ukuran dan morfologi partikel PCC.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pengaruh laju alir biogas pada waktu kontak terhadap kualitas dan kuantitas PCC yang terbentuk.
2. Membandingkan pengaruh distributor gas terhadap *yield*, ukuran dan morfologi partikel.
3. Mengetahui pengaruh tinggi larutan Ca(OH)_2 dalam kolom gelembung terhadap proses karbonasi.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan biometana dan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC).
2. Memberikan informasi mengenai alternatif pemurnian biogas dengan metode *bubble column*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Biogas

Limbah material organik seperti hewan dan tumbuhan mati, kotoran hewan, dan limbah dapur dapat di konversi menjadi bahan bakar gas disebut biogas. Biogas dapat dihasilkan dari pengolahan secara anaerobik (anaerobic digestion) dengan bahan baku berupa limbah organik, seperti limbah cair kelapa sawit (POME), limbah pengolahan sagu, dan kotoran hewan. Bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah tersebut didekomposisi oleh bakteri anaerobik fakultatif maupun obligat dalam suatu reaktor tertutup pada suhu $35^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$. Hasil dekomposisi bakteri yang berupa biogas akan keluar melalui bagian atas reaktor, sedangkan bahan yang tidak terdekomposisi akan keluar melalui bagian bawah reaktor. Biogas bisa menjadi solusi pengganti energi bahan bakar yang murah dan ramah lingkungan.

Gas metana atau CH_4 adalah unsur utama dalam biogas dan merupakan komponen penting dalam pembakaran, tetapi juga mengandung beberapa pengotor. Kandungan biogas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel II.1 Komposisi Biogas Secara Umum

| Komposisi Biogas | Persentase (%) |
|---|----------------|
| Metana (CH_4) | 55 – 65 |
| Karbon dioksida (CO_2) | 15 – 45 |
| Nitrogen (N_2) | 0.1 - 4 |
| Hidrogen Sulfida (H_2S) | 1 – 5 |
| Hidrogen (H_2) | 0.01 - 2 |
| Oksigen (O_2) | 0.02 – 6.5 |

(Bori et al,2007)

Karbon dioksida (CO_2) dalam biogas memberi beberapa dampak pada hasil biogas seperti: menurunkan nilai kalor, meningkatkan jumlah metana dan sifat *anti-knock* pada mesin,

dan merusak sel bahan bakar alkali. Melalui serangkaian alat purifikasi untuk menghilangkan pengotor, biogas dapat dijadikan natural gas. Sehingga produk akhir biogas yang merupakan campuran antara CH_4 dan CO_2 dapat digunakan sebagai energi terbarukan.

II.2 Teknologi Penangkap CO_2

Pembangkit listrik, kilang minyak, pemurnian biogas, dan juga produksi ammonia, etilena oksida, semen, besi, dan baja adalah sumber industri utama CO_2 . Misalnya, lebih dari 40% dari emisi CO_2 di seluruh dunia disebabkan oleh listrik generasi di pembangkit listrik bahan bakar fosil. Karena itu, sumber ini adalah kandidat utama untuk aplikasi potensial *carbon capture utilization* (CCU).

Pemilihan dalam menangkap CO_2 dapat diklasifikasikan kedalam *post-conversion*, *pre-conversion* dan *oxy-fuel combustion*.

II.2.1 Post-Conversion Capture

Post-conversion capture melibatkan pemisahan CO_2 dari limbah gas setelah konversi sumber karbon menjadi CO_2 misalnya, melalui pembakaran bahan bakar fosil atau pencernaan air limbah *sludge*. Metode ini dapat digunakan untuk menghilangkan CO_2 dari berbagai industri. Absorpsi dengan *monoethanolamine* (MEA) merupakan umum yang digunakan, tetapi metode ini tidak ekonomis untuk diaplikasikan ke semua industri sebab regenerasi MEA membutuhkan pemakaian panas tinggi. Sebagai contoh, absorpsi MEA CO_2 pada pabrik semen kurang baik digunakan dibandingkan dengan pabrik yang menggunakan gabungan panas dan daya sebab bentuk kurangnya pemulih panas, sehingga adanya biaya energi tambahan.

II.2.2 Pre-Conversion Capture

Pre-conversion capture melibatkan penangkapan CO_2 yang dihasilkan sebagai co-produk yang tidak diinginkan dari reaksi perantara konversi proses. Beberapa contoh termasuk produksi ammonia dan gasifikasi batubara di pembangkit listrik.

Dalam ammonia produksi, CO₂ yang diproduksi Bersama dengan hydrogen selama uap reformai harus dihilangkan sebelum sintesis ammonia terjadi. Penyerapan di MEA yang biasa digunakan untuk tujuan ini. Begitu pula dengan *integrated gasification combined cycle* (IGCC) pembangkit listrik, CO₂ harus dipisahkan dari hidrogen biasanya dapat dicapai dengan menggunakan pelarut fisik seperti selexol dan rectisol. *Porous organic framework* membranes dapat digunakan untuk menangkap CO₂ karena selektivitas CO₂ dan memiliki daya serapan tinggi. Namun, tidak ada aplikasi telah dilaporkan sampai saat ini.

Seperti dengan *post-conversion*, penangkapan CO₂ melalui *pre-conversion* juga melibatkan denda energi untuk regenerasi pelarut kimia (seperti MEA) lebih rendah untuk pelarut fisik sebagai mana adanya diregenerasi dengan mengurangi tekanan bukan dengan panas. Oleh karena itu, pelarut lebih sesuai untuk diaplikasikan dengan operasi tekanan tinggi dan lebih efisien untuk aliran CO₂ yang tinggi.

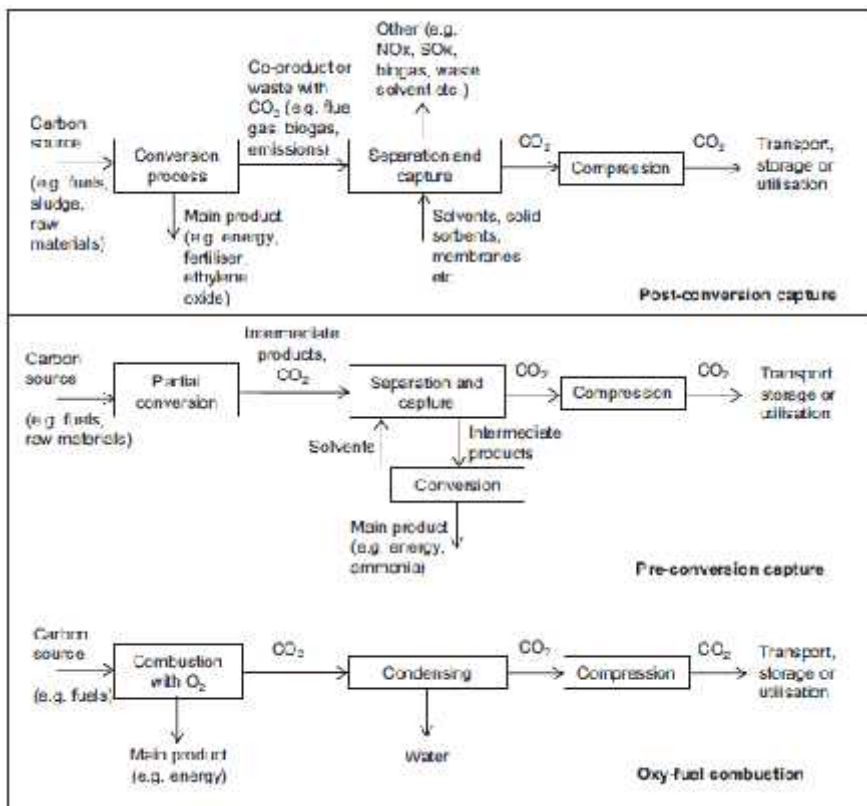
II.2.3 Oxy - fuel combustion capture

Oxy - fuel combustion dapat diaplikasikan kedalam proses yang melibatkan pembakaran, seperti pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil, industri produksi semen, besi dan baja. Pada metode ini, bahan bakar dibakar dengan oksigen murni untuk menghasilkan gas buang dengan konsentrasi CO₂ tinggi dan bebas dari nitrogen dan senyawanya NO dan NO₂. Sementara untuk menghindari kebutuhan akan bahan kimia atau cara pemisahan CO₂ lainnya dari gas buang, kerugiannya adalah mahal nya oksigen dan dampak lingkungan, termasuk emisi CO₂, terkait dengan produksi tinggi karena pemisahan udara yang intensif. (Rosa M et.al, 2014)

Tabel II.2 Metode penangkap CO₂

| Capture option | Separation Technology | Method |
|-----------------|---|--|
| Post-conversion | Absorption by chemical solvent | <ul style="list-style-type: none"> • Amine-based solvent, e.g. monoethanolamine (MEA), dethanolamine (DEA), and hindererd amine (KS-1) |
| | Adsorption by solid sorbents | <ul style="list-style-type: none"> • Alkaline solvents, e.g. NaOH and Ca(OH)₂ • Ionic liquids • Amine-based solid sorbents • Alkali earth metal-based solid sorbents, e.g. CaCO₃ • Alkali metal carbonate solid sorbents, e.g. Na₂CO₃ and K₂CO₃ |
| | Membrane separation | <ul style="list-style-type: none"> • Porous organic frameworks - polymers • Polymeric membranes, e.g. polymeric gas permeation membranes |
| | Cryogenic separation Pressure/vacuum | <ul style="list-style-type: none"> • Inorganic membranes, e.g. zeolites • Hybrid membranes • Cryogenic separation • Zeolites |

| | | |
|---------------------|---|---|
| | swing adsorption | <ul style="list-style-type: none"> • Activated carbon |
| Pre-conversion | Absorption by physical solvents Absorption by chemical solvent | <ul style="list-style-type: none"> • Selexol, rectisol • Amine-based solvent, e.g. (MEA) |
| Oxy-fuel combustion | Separation of oxygen from air | <ul style="list-style-type: none"> • Oxy-fuel process • Chemical looping combustion • Chemical looping reforming |



Gambar II.1 Skema metode penangkap CO₂

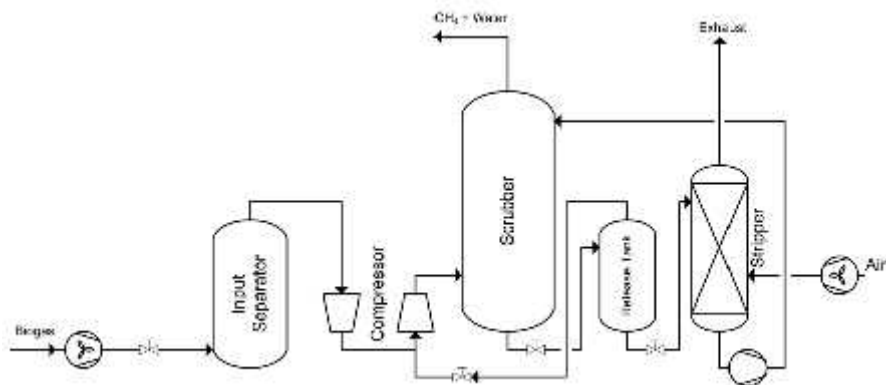
II.3 Teknologi Pemurnian Biogas

II.3.1 Water Scrubbing

Water scrubbing biasa digunakan untuk menghilangkan CO₂ dan H₂S dari biogas karena gas tersebut lebih larut dalam alir daripada metana. Proses absorpsi bersifat fisik. Biasanya biogas bertekanan diumpungkan ke dasar *packed column* sementara air di alirkan dari atas kolom sehingga proses absorpsi berjalan secara *counter-current*. *Water scrubbing* juga dapat digunakan untuk menghilangkan H₂S karena H₂S lebih mudah larut daripada CO₂

dalam air. Air yang keluar dari kolom dengan CO_2 dan H_2S yang diserap dapat di regenerasi dan disirkulasi ulang kembali ke kolom absorpsi.

Regenerasi dilakukan dengan penurunan tekanan atau *stripping* dengan udara pada kolom yang sama. *Stripping* dengan udara tidak disarankan saat kadar H_2S tinggi karena air akan terkontaminasi dengan dasar sulfur dapat menyebabkan masalah operasional. Jika ketersediaan air dapat digunakan, misalnya air keluar dari instalasi pengolahan limbah, metode ini membutuhkan biaya yang paling efisien.



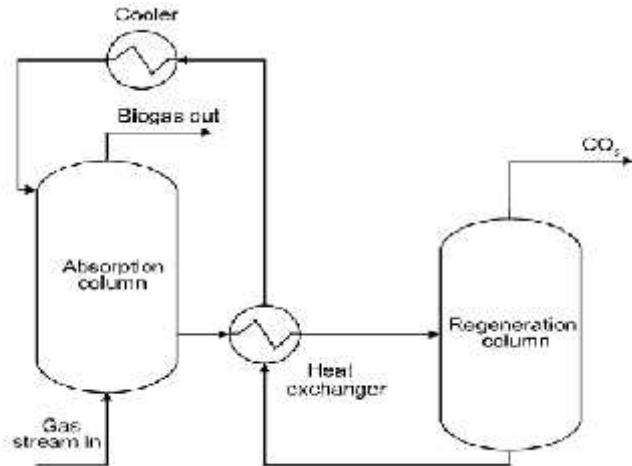
Gambar II.2 Diagram alir teknologi *water scrubbing*

Keuntungan menggunakan *water scrubbing* tidak membutuhkan bahan kimia khusus dan penghilangan ke dua gas CO_2 dan H_2S . kerugian pada *water scrubbing* adalah membutuhkan banyak air pada regenerasi, juga keterbatasan penghilangan H_2S , karena menurunnya CO_2 pada pH larutan dan korosi peralatan disebabkan oleh H_2S . menurut De Hullu et.al (2008), biaya metode water scrubbing adalah 0.13 €/Nm^3 biogas.

II.3.2 Penyerapan Kimiawi

Penyerapan kimiawi melibatkan pembentukan ikatan kimia reversibel antara zat terlarut dan pelarut. Regenerasi pelarut melibatkan pemutusan ikatan dan membutuhkan energi yang

relatif tinggi. pelarut kimia umumnya menggunakan larutan *aqueous amine* (yaitu mono-, di- atau tri-ethanolamine) atau larutan garam alkali (yaitu natrium, kalium dan kalsium hidroksida).

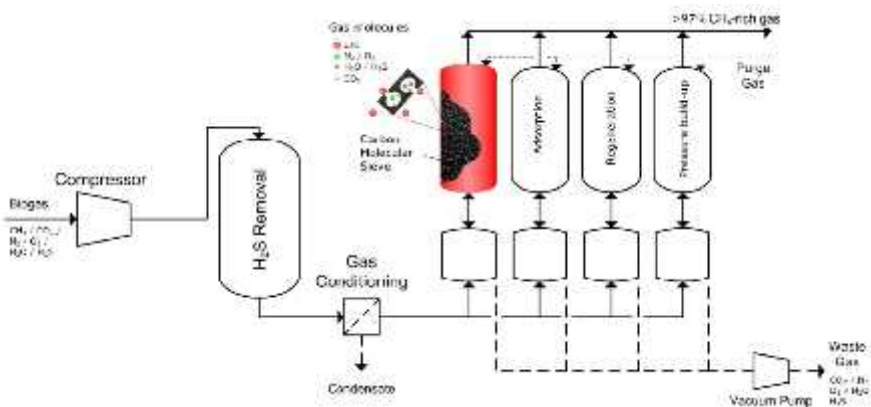


Gambar II.3 Diagram alir teknologi penyerapan kimiawi

Biswas et al. (1977) melaporkan metode *bubbling* biogas melewati 10% larutan *aqueous mono-ethanolamine* dapat menurunkan kandungan CO₂ pada biogas 40 menjadi 0.5-1.0% volumenya. Larutan MEA dapat regenerasi secara sempurna dengan didihkan selama 5 menit sebelum dapat digunakan kembali. Keuntungan penyerapan kimiawi adalah penghilangan kadungan H₂S sempurna, efisiensi tinggi dan laju reaksi dibandingkan *water scrubbing*, dan memiliki kemampuan berkerja pada tekanan rendah. Karena keuntungan tersebut, proses ini secara umum di aplikasi oleh banyak industri, termasuk pemurnia gas alam (Kim et al., 2004; Palmeri et al., 2008). Kerugiannya adalah perlu adanya bahan kimia dan memiliki utilitas untuk mengolah bahan kimia tersebut. Biaya yang diperlukan pada metode ini diperkirakan 0.17 €/Nm³ biogas, menurut De Hullu et al. (2008).

II.3.3 Pressure Swing Adsorption

Pressure swing adsorption adalah teknologi yang digunakan untuk memisahkan beberapa spesies gas dari campuran gas yang berada di bawah tekanan sesuai dengan karakteristik molekuler spesies dan afinitas bahan adsorben. teknologi ini beroperasi pada suhu ambien terdekat dan sangat berbeda dari teknik distilasi kriogenik pada pemisahan gas. Bahan adsorptif khusus (misalnya, zeolit dan karbon aktif) digunakan sebagai sieve molekuler, secara khusus mengadsorpsi spesies gas pada tekanan tinggi. Proses kemudian beralih ke tekanan rendah untuk menghilangkan bahan adsorben. (Cavenati et al., 2005)



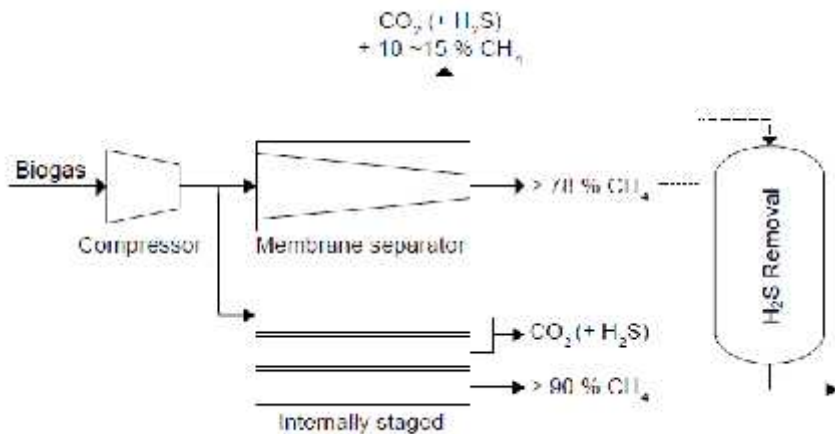
Gambar II.4 Diagram alir *pressure-swing adsorption*

Pressure swing adsorption menggunakan zeolite atau karbon aktif pada tingkat tekanan yang berbeda merupakan metode efektif dalam pemisahan CO_2 dari metana (Grande and Rodrigues, 2007; Pinto et al., 2008). Karbon aktif yang diresapi oleh potassium iodide dapat secara katalitis bereaksi dengan oksigen dan H_2S untuk menghasilkan air dan sulfur (Pipatmanomai et al., 2009). Reaksi paling baik dicapai pada 7 hingga 8 bar dan suhu 50 hingga 70°C . karbon aktif diperlukan untuk regenerasi atau digantikan ketika mencapai jenuh. Keuntungan penggunaan teknologi PSA lebih dari 97% CH_4 dapat di murnikan, emisi rendah dan menghilangkan nitrogen dan

oksigen. Kerugian teknologi PSA penghilangan kandungan H_2S tambahan diperlukan sebelum proses PSA. Selain itu, gas sisa dari PSA masih perlu diolah kembali. Teknologi ini relatif lebih mahal dibandingkan teknologi yang lain, menurut De Hullu et al. (2008), biaya instalasi metode PSA adalah 0.40 €/Nm^3 biogas.

II.2.3 Pemisahan Membran

Prinsip teknologi pemisahan membran adalah beberapa komponen gas mentah di alirkan melalui membran tipis sementara komponen lainnya dipertahankan. Permeabilitas adalah fungsi langsung dari kelarutan kimia dari komponen dalam membran. Membran padat dapat dibangun sebagai modul serat berongga atau struktur lainnya yang memberikan permukaan membran besar per volume. tekanan operasi yang biasa digunakan berkisar 25 hingga 40 bar. Prinsip dasar pemisahan membran menghasilkan pertukaran antara kemurnian metana tinggi pada gas yang ditingkatkan dan hasil metana yang tinggi. Kemurnian gas yang ditingkatkan dapat diperbaiki dengan meningkatkan ukuran atau jumlah modul membran, namun lebih banyak metana yang akan menembus melalui membran dan menghilang.



Gambar II.5 Diagram alir pemisahan membran

Keuntungan teknologi pemisahan membran adalah prosesnya ringan, pengolahan yang mudah, memiliki persyaratan energi dan perawatan yang rendah. Kelemahan pemisahan membran adalah hasil CH_4 relatif rendah dan biaya membran yang tinggi. Menurut De Hullu et al. (2008), biaya metode membran adalah 0.12 €/Nm^3 biogas. Meskipun biaya ini rendah dibanding dengan metode lain yang ditinjau, kesulitan dengan hasil dan kemurnian serta potensi *membrane fouling* (pergantian membran) meningkatkan biaya operasi dan sangat mempengaruhi ekonomi proyek.

II.4 Precipitated Calcium Carbonate (PCC)

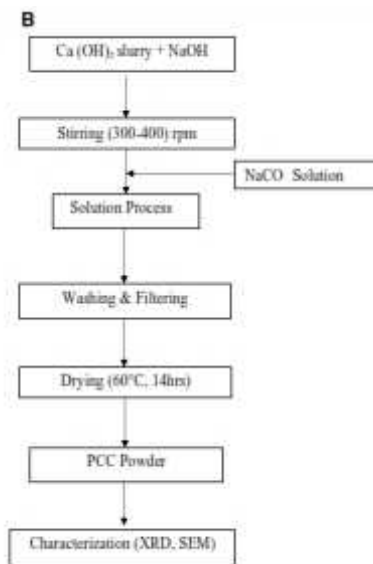
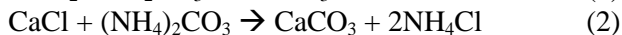
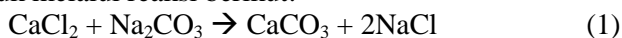
Calcium Carbonate (CaCO_3) dapat ditemukan pada kebanyakan makhluk hidup. CaCO_3 *biodegradable*, *biocompatible*, dan material dengan sensitifitas pH yang baik. Properti CaCO_3 cocok untuk kemampuan dekomposisi terkontrol baik dalam vitro dan vivo.

Dalam industri makanan, kalsium karbonat dimanfaatkan tidak hanya untuk menyediakan sistem tubuh dengan nutrisi penting (kalsium), tetapi juga sebagai kondisioner dalam pencegahan bubuk makanan menjadi kering. Selain itu, *precipitated calcium carbonate* sering digunakan dalam pasta gigi yang berfungsi sebagai abrasive dan fillers. PCC jauh lebih murah dari bahan abrasive yang lain seperti silica dan *dicalcium phosphate*. PCC mempunyai banyak kelebihan dibanding *ground calcium carbonate* dengan ukuran partikel yang lebih kecil, kemurnian tinggi, distribusi ukuran partikel kecil dan bentuk kristal biasa. Tidak seperti *ground calcium carbonate*, PCC dapat diproduksi dalam berbagai bentuk partikel dan dalam ukuran partikel halus. PCC semakin banyak digunakan di industri seperti kertas, karet, cat, tekstil, plastik dan lain-lain. *Calcium carbonate* terdapat dalam tiga mineral yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit

Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dapat diproduksi melalui 2 metode utama yaitu: solid-liquid route yang melibatkan reaksi langsung antara Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam larutan, dan solid-

liquid-gas route dimana gas CO_2 direaksikan dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

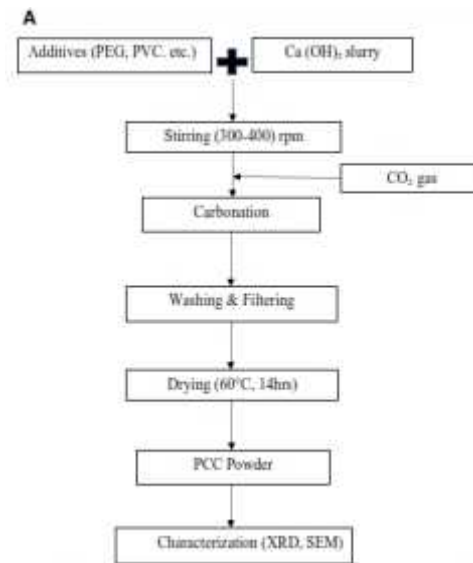
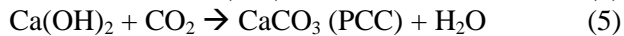
Pada liquid-liquid route larutan garam karbonan digunakan sebagai pengganti gas CO yang ditambahkan ke reaktan dalam proses proses karbonasi sebelumnya. Proses ini sering digunakan dalam produksi laboratorium karena mudah dalam mengendalikan variabel operasinya. Polimorf PCC yang paling umum diperoleh melalui solid-liquid route adalah kalsit rhombohedral. Dalam proses ini, kalsium karbonat dapat terbentuk melalui reaksi berikut:



Gambar II.6 Sintesa PCC melalui metoda kaustik soda

Solid-liquid-gas route, juga dikenal sebagai metode karbonasi, banyak digunakan di industri karena prosedur yang sederhana, biaya rendah, hasil lebih banyak dan kemurnian yang lebih tinggi. Namun, metode karbonasi membutuhkan waktu yang

cukup lama karena kelarutan CO yang rendah digunakan untuk sintesis PCC. Dalam proses ini batuan karbonat dikalsinasi dengan menggunakan *furnace* antara suhu 900-1000°C, kemudian diolah dengan air untuk menghasilkan Ca(OH)₂ atau susu kapur. Susu kapur dikarbonasi dengan karbonasi dengan CO₂ yang diperoleh dari proses kalsinasi.



Gambar II.7 Sintesa PCC dengan metode karbonasi
(Onimisi,2017)

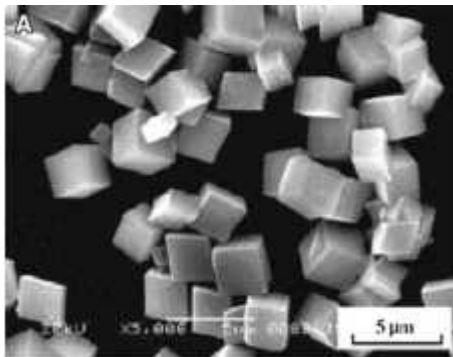
II.5 Polimorf *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC)

Precipitated Calcium Carbonate memiliki tiga bentuk kristal yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit. Aditif dan surfaktan organik biasanya digunakan untuk memanipulasi ukuran partikel

dan morfologi kalsium karbonat. Sebagian besar menghasilkan perubahan struktur dan karakteristik kristal kalsit, tergantung aditif atau pelarut organik yang digunakan. Selain bergantung atas kondisi reaksi, pemilihan polimorfinasi kalsium karbonat melibatkan perubahan parameter seperti suhu, kondisi pencampuran atau pengadukan, pH, pelarut, dan penggunaan aditif organik atau anorganik.

II.5.1 *Calcite Polymorph*

Polimorf kalsit adalah yang paling efisien dan tidak beracun, dan secara termodinamika lebih stabil pada rentang suhu yang luas diantara ketiganya. Namun, memiliki fase yang paling tidak larut pada rentang suhu 0-90 °C. Ini digunakan sebagai filler pada plastik untuk mengurangi opasitas dan untuk meningkatkan kilau pada permukaan cat. Kalsit sebagian besar digunakan di industri karena penampilan superior dan memberikan warna yang berkilau pada warna akhir. Di bawah mikroskop, PCC diidentifikasi dalam bentuk kristal *rhombohedral*.

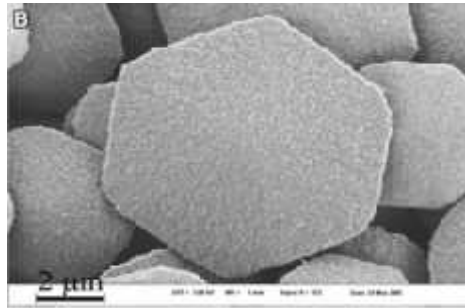


Gambar II.8 *Calcite PCC*

II.5.2 *Aragonite Polymorph*

Aragonit PCC adalah polimorf lain dari kalsium karbonat yang sedikit stabil secara termodinamika pada suhu yang terkontrol. Indeks bias rata-rata PCC aragonit sedikit lebih besar dari kalsit, membuatnya bahan pelapis yang lebih baik dibandingkan polimorf kalsit. Aragonit sering digunakan di industri sebagai aditif atau *filler* di kertas, karet, plastik, cat, dan

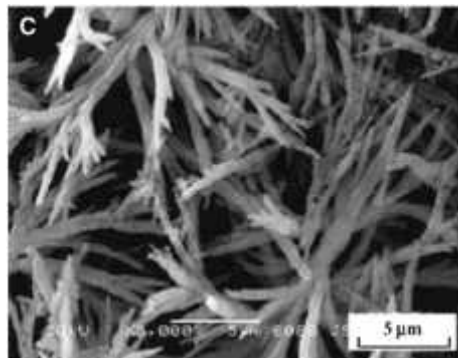
pigmen. Partikel aragonite dengan aspek rasio yang sangat tinggi meningkatkan kekuatan benturan dan elastisitas karet dan plastik.



Gambar II.9 *Aragonite* PCC

II.5.3 Vaterite Polymorph

Merupakan bentuk kalsium karbonat yang tidak stabil. Dalam kondisi normal, vaterite akan berubah menjadi kalsit sampai benar-benar lenyap. Memiliki densitas 2.54 g/cm^3 dan termasuk dalam kristal heksagonal. Aditif organik memainkan peran penting pada pertumbuhan kristal vaterit dan dapat mencegah transformasi dari vaterit menjadi kalsit. Vaterit merupakan polimorf kalsium karbonat yang paling larut. Dalam industri biomedis, vaterit digunakan sebagai agen pelapis untuk mencegah percepatan degradasi dan juga penerapan material pada bangunan dan konstruksi.



Gambar II.10 *Vaterite* PCC

II.6 Microbubbles

Microbubbles (MBs) adalah gelembung sangat kecil dalam cairan, dengan diameter beberapa puluh mikrometer. Salah satu penggunaan MBs adalah pemurnian air, dicapai dengan meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut di air yang tercemar. Sebagai penggunaan MBs dalam waktu Panjang ke aplikasi yang lebih luas, pemulihan partikel dan *precipitated calcium carbonate* dengan menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ telah dipelajari. Aplikasi ini terkait dengan properti fisik MBs yang tidak ditemukan dalam gelembung biasa dalam cairan, yaitu konsentrasi gas tertentu dalam cairan akan tetap tinggi jika gas yang terkandung dalam MBs tinggal pada waktu yang lama.

Persamaan (1) menjelaskan stabilitas pada ukuran MBs:

$$\sigma = \left(\frac{\partial G}{\partial A} \right)_{T,P} \quad (1)$$

dimana σ , G, dan A adalah tegangan permukaan, G energi gibbs, dan luas permukaan, pada CO_2 bubble:

$$J_{\text{CO}_2 z} = -D_{\text{CO}_2 A} \frac{dC_{\text{O}_2}}{dz} \quad (2)$$

Dimana, $J_{\text{CO}_2 z}$ adalah laju konsentrasi CO_2 difusi terhadap arah z ($\text{mol/m}^2\text{s}$), $D_{\text{CO}_2 A}$ adalah koefisien difusi CO_2 melewati suspensi (m^2/s), dC_{O_2} perubahan konsentrasi (mol/m^3), dan dz adalah perubahan Panjang terhadap arah z (m).

Tegangan permukaan meningkat karena luas permukaan gelembung berkurang, jika energi gibbs pada kedua bentuk tersebut identik. Selain itu, menurunnya luas permukaan akan menurunkan volume dan laju pelepasan gelembung. Oleh karena itu, MBs dapat tetap bertahan lebih lama dari gelembung biasa. Peningkatan konsentrasi gas dalam fase air akan meningkatkan laju difusi. Hukum pertama difusi pada persamaan (2), menunjukkan bahwa tingkat difusi CO_2 meningkat dalam arah z, jika konsentrai CO_2 meningkat. Dampak kualitas MBs meningkatkan konsentrasi gas berbeda dari gelembung biasa (seperti yang terlihat pada pernapasan air melalui sedotan). Penggunaan *microbubble* (MBG) menghasilkan *precipitated*

calcium carbonate ukuran yang lebih kecil daripada difusi udara dengan diameter 3 cm. Feng et al. juga memperoleh ukuran PCC yang kecil dengan menurunkan ukuran pori frit yang digunakan untuk pada metode *bubbling* CO₂ dalam suspensi Ca(OH)₂. (Jun-Hwan Bang et al, 2015)

II.7 Gas hold up

Gas hold up adalah rasio volume fasa gas terhadap volume total. *Gas hold up* adalah parameter hidrodinamik yang penting dan merupakan ukuran dasar dari kontak gas-cair. *Gas hold up* diatur oleh ukuran gelembung rata-rata, populasi gelembung dan kecepatan gelembung. *Gas hold up* pada kolom gelembung diukur melalui pengolahan gambar pada permukaan bebas. Tinggi rata-rata suatu cairan pada fungsi waktu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\overline{H(t)} = \frac{1}{D_H} \int_{-D_H/2}^{D_H/2} H(x, t) dx \quad (3)$$

Sehingga total *gas hold up* dapat dihitung melalui persamaan (4)

$$\alpha_G = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} \frac{\overline{H(t)} - H_0}{H(t)} dt \quad (4)$$

Dimana t_1 adalah waktu saat pencatatan dimulai, dan T adalah waktu ketika pengambilan sampel. (Shohei et.al, 2009)

II.8 Penelitian Terdahulu

C.Ofori et. al (2009), melakukan penghilangan CO₂ dari biogas dengan menggunakan *water scrubbing*. Biogas dikompresi pada tekanan 1.0 MPa sehingga meningkatkan kelarutan karbon dioksida dalam air. Air dilepaskan pada tekanan 1.3 MPa untuk memenuhi tekanan gas yang masuk kedalam kolom secara berlawanan arah. Dari beberapa metode pemurnian biogas, *water scrubbing* merupakan yang paling sederhana serta memiliki biaya operasi dan perawatan yang rendah. Namun, membutuhkan banyak air pada regenerasi, juga keterbatasan penghilangan H₂S,

karena menurunnya CO_2 pada pH larutan dan korosi peralatan disebabkan oleh H_2S . (C. Ofori et. al, 2009)

Xi Liu et.al (2015), melakukan pemurnian biogas dan sintesis *calcium carbonate* dengan reaktor *multi stage membrane*. Pada penelitian ini *slurry* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dialirkan menuju reaktor *multi stage membrane* untuk memurnikan biogas dan sintesis nano *precipitated calcium carbonates* (PCC). Reaktor *multi stage membrane* berhasil memurnikan biogas (dengan kandungan keluaran CO_2 kurang dari 3%) dan menghasilkan nano *calcium carbonate* dengan ukuran diameter rata-rata 72.8 nm. Namun, biaya dalam pembuatan reaktor *multi stage membrane* membutuhkan biaya yang cukup tinggi. (Xi Liu et.al, 2015)

Maizirwan Mel et. al (2016), melakukan penghilangan CO_2 dari *plant* biogas dengan menggunakan kolom absorpsi kimiawi. Pada penelitian ini CO_2 dan H_2S dimurnikan dengan menggunakan larutan sodium hidroksida (NaOH). Konsentrasi sodium hidroksida bervariasi sebagaimana laju alir biogasnya. Penelitian ini mengungkapkan efisiensi penghilangan tertinggi telah dilakukan pada konsentrasi 14% larutan sodium hidroksida yang digunakan dan kapasitas penyerapan maksimum tercapai bila CH_4 meningkat 54.9 % dari awalnya. Namun, metana yang telah dimurnikan tidak terlalu tinggi dikarenakan konsentrasi metana di dalam biogas menjadi jenuh secara cepat. (Maizirwan Mel et. Al, 2016)

Novesar et.al (2007), melakukan pembuatan *precipitated calcium carbonate* (PCC) dari batu kapur dengan menggunakan metoda kaustik soda. Penelitian ini dilakukan dengan penambahan larutan HNO_3 1 – 2 M dan penambahan larutan Na_2CO_3 dengan konsentrasi 0.25 – 2 M, reaksi dilakukan dengan variasi 30, 45, 60, 90 dan 120 menit. Waktu reaksi yang terlalu cepat akan menyebabkan kesempurnaan reaksi belum tercapai sehingga produk yang dihasilkan lebih kecil dari yang seharusnya. Pengaruh konsentrasi HNO_3 pada rendemen PCC yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi HNO_3 maka rendemen yang dihasilkan semakin tinggi. Namun, penambahan

larutan HNO_3 menyisakan residu berupa serbuk yang berwarna lebih kuning dibandingkan dengan CaO awal. (Novesar et.al, 2007).

Clifford et.al (2008), melakukan pembuatan *precipitated calcium carbonate* (PCC) dengan metoda *reverse micro-emulsion technique*. Penelitian ini dilakukan dengan mempersiapkan CaCl_2 dan Na_2CO_3 *reverse microemulsions* dengan mencampurkan isooktan, surfaktan, larutan encer CaCl_2 dan Na_2CO_3 pada suhu 25°C . besar ukuran PCC yang terbentuk memiliki ukuran mikrometer, dengan bentuk *rod-like*, bola, dan cincin. Untuk menghasilkan partikel CaCO_3 yang submicron dan bentuk yang bermacam-macam maka dilakukan upaya perubahan konsentrasi reaktan, memvariasikan jumlah relatif kedua mikroemulsi atau penambahan sejumlah kecil zat aditif. (Clifford et.al, 2008)

Qudsiyyatul et.al (2012), melakukan pembuatan *precipitated calcium carbonate* (PCC) dengan metoda *bubbling*. Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan larutan CaCl_2 yang dilakukan dengan mereaksikan CaO hasil kalsinasi dengan HCL 10 M dan penambahan larutan NH_4OH hingga pH 10. Proses karbonasi (*bubbling*) dilakukan dengan variasi suhu 30°C , 50°C , 70°C dan laju alir CO_2 2, 5, dan 7 SCFH. Pada suhu 30°C terbentuk fasa kalsit dan vaterit. Pada suhu 50°C terbentuk fasa kalsit, aragonit, dan vaterit. Pada suhu 70°C hanya fasa aragonit yang terbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa temperature mempengaruhi pembentukan fase dari CaCO_3 . Peningkatan laju aliran gas CO_2 fase metastabil menghilang dan hanya terdapat fase kalsit di mana fase kalsit merupakan fase yang paling stabil. (Qudsiyyatul et.al, 2012)

Anuar et.al (2015) melakukan pembuatan *precipitated calcium carbonate* (PCC) dengan metoda karbonasi. Penelitian ini dilakukan dengan mempersiapkan larutan kalsium sukrosa dengan mencampurkan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan larutan sukrosa. Variasi laju alir CO_2 yang digunakan adalah 0.2 dan 1 L/min. PCC yang terbentuk tanpa zat aditif memiliki bentuk ukuran yang baik dan seragam dibandingkan adanya zat aditif. Tetapi, jumlah PCC yang

dihasilkan menggunakan zat aditif memiliki jumlah yang lebih banyak dibandingkan tanpa aditif. Peningkatan laju alir gas CO₂ akan menurunkan ukuran partikel PCC. Penggunaan aditif seperti sukrosa dapat meningkatkan produk PCC karena kelarutan kapur hidrat dalam larutan sukrosa lebih tinggi dibandingkan dengan air. (Anuar et.al 2015)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, sintesis *Precipitated calcium carbonate* (PCC) akan di proses menggunakan metode karbonasi dengan menggunakan reaktor kolom gelembung. Biogas yang digunakan berasal dari Dusun Podorejo, Desa Sajen, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto yang didanai oleh ITS. Biogas ini memiliki kandungan gas 69% metana (CH_4), 31% karbon dioksida (CO_2). Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dipersiapkan dengan cara melarutkan serbuk CaO ke dalam air dimeneralisasi berdasarkan kelarutannya. Untuk mengetahui pengaruh metana dalam biogas terhadap reaksi CO_2 dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. CO_2 murni dengan kelarutan 0.00125 gram gas/gram air digunakan sebagai pembanding dalam penelitian ini.

III.1 Bahan dan Peralatan Penelitian

III.1.1 Bahan

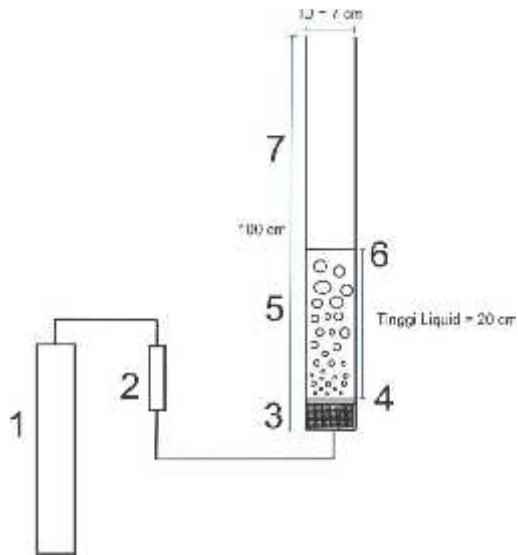
1. Serbuk CaO
2. Biogas
3. Gas CO_2
4. Aquades

III.1.2 Peralatan

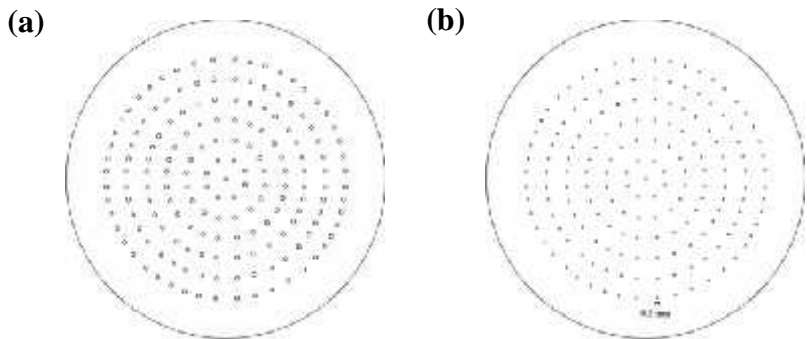
III.1.2.1 Alat Pembuatan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC)

1. Tabung gas berfungsi penampung biogas.
2. *Flowmeter gas* (Wiebrock) berfungsi sebagai pengukur laju aliran gas.
3. *Glass Bead* (diameter 1 - 2 mm) berfungsi sebagai packing untuk distributor gas.
4. *Perforated Plat* (diameter lubang 0.5 dan 1 mm) berfungsi sebagai distributor gas.
5. *Cylindrical column* berfungsi sebagai tempat reaksi pembentukan PCC.

6. pH meter (Testo 206) berfungsi mengukur pH larutan.



Gambar III.1 Skema alat Pembuatan PCC



Gambar II.2 Pola distributor (a) 1 mm (b) 0.5 mm

III.2 Variabel dan Kondisi Operasi

Variabel penelitian yang digunakan adalah laju alir gas (CO_2 dan biogas), ukuran diameter lubang pada *perforated plat distributor gas*, dan tinggi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam kolom gelembung. laju alir gas yang digunakan adalah 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, dan 0.5 l/min, tinggi cairan dalam kolom gelembung yang di digunakan adalah 50, 60, 70, dan 80 cm, dan ukuran diameter lubang distributor gas 0.5 mm dan 1 mm.

Kondisi operasi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pelarutan CaO menjadi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ disertai dengan pengadukan dilakukan pada suhu kamar.
2. Untuk mengetahui pengaruh laju alir biogas: konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dan diameter lubang *perforated gas distributor* dikontrol (konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 2.38 gram CaO /1 liter air, dan diameter lubang PGD 1 mm).
3. Untuk mengetahui pengaruh diameter lubang diameter *perforated gas distributor* (PGD): laju alir biogas, dan konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dikontrol (laju alir biogas 0.3 L/menit, konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 2.38 gram CaO /1 liter air).
4. Untuk mengetahui pengaruh penyerapan gas CO_2 : laju alir biogas, dan konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dikontrol (laju alir biogas: 0.5 L/menit, konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 2.38 gram CaO /1 liter air).
5. Hal yang sama juga dilakukan pada CO_2 murni sebagai pebanding.

III.3 Prosedur Percobaan

Percobaan ini dibagi menjadi 2 tahapan yaitu:

1. Sintesis *precipitated calcium carbonates* (PCC)
2. Karakterisasi *precipitated calcium carbonates* (PCC)

III.3.1 Sintesis *Precipitated Calcium Carbonates* (PCC)

Pertama larutan Ca(OH)_2 dipersiapkan dengan melarutkan 2.38 gram CaO dalam 1 liter air. Larutan ini diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan konstan 450 rpm selama 10 menit pada suhu ruang. Larutan Ca(OH)_2 dan biogas diumpankan ke dalam kolom gelembung secara berlawanan. Untuk mengukur perubahan pH terhadap waktu, sebanyak 100 ml larutan sampel tersebut di analisa menggunakan *pH meter probe* (testo 206) setiap 2 menit untuk mengetahui titik akhir proses karbonasi. Reaksi sempurna ditunjukkan dengan penurunan pH yang stabil menjadi 7. Kemudian sampel dari reaktor dikumpulkan dan dipisahkan dengan filtrasi setelah didiamkan dan didinginkan selama 2 jam. *Precipitated calcium carbonate* (PCC) dikeringkan pada suhu 70°C selama 12 jam sebelum digunakan untuk karakterisasi.

III.3.2 Karakterisasi *Precipitated Calcium Carbonates* (PCC)

Untuk memastikan adanya perbedaan dalam pengambilan sampel untuk tujuan karakterisasi, sampel dari reaktor kolom gelembung dikumpulkan ketika reaktor mencapai kondisi *steady state*. Pola XRD *precipitated calcium carbonate* (PCC) di analisa dengan menggunakan difraktometer sinar-X (X'pert PRO PAN alytical) antara 20°C hingga 80°C dengan tingkat pemindaian $2^\circ/\text{menit}$. Radiasi Cu K (tabung LFF 30 mA, 30 kV) dipilih untuk Analisa XRD. Morfologi *precipitated calcium carbonate* (PCC) di Analisa dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (INSPECT S50 15 kV, dengan perbesaran 10000x dan 25000x). Pola XRD partikel CaCO_3 yang didapat disesuaikan pada pola referensi yang terdapat pada *software* analisa pola XRD dan diameter rata-rata 150 partikel PCC di Analisa dengan *software* Analisa gambar.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju alir biogas pada waktu kontak terhadap kualitas dan kuantitas, membandingkan pengaruh distributor gas terhadap rendemen, ukuran dan morfologi partikel, dan mengetahui pengaruh tinggi larutan Ca(OH)_2 dalam kolom gelembung terhadap kuantitas PCC yang terbentuk dengan menggunakan metode karbonasi. Biogas pada penelitian ini memiliki kandungan gas 69% metana (CH_4), 31% karbon dioksida (CO_2). Gas CO_2 murni digunakan sebagai pembanding. Sementara larutan Ca(OH)_2 dengan konsentrasi 2.38 gram CaO /liter akan di kontakkan dengan biogas secara *counter current*.

IV.1 Pengaruh Laju Alir Gas pada Proses Karbonasi

IV.1.1 Pengaruh Laju Alir Gas Terhadap Perubahan pH

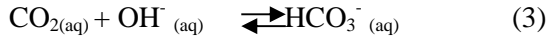
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya reaksi sempurna ditunjukkan dengan nilai pH mendekati netral ($\text{pH} = 7$). Dalam hal ini, pH menjadi indikator utama untuk menjustifikasi kesempurnaan dari reaksi. Penurunan pH mengindikasikan bahwa ion Ca^{2+} bereaksi dengan CO_2 untuk membentuk CaCO_3 . Oleh karena itu, jika pH lebih dari 7 maka mengindikasikan proses karbonasi tidak berjalan sempurna dikarenakan keberadaan ion OH^- dalam larutan. Mekanisme pembentukan PCC dapat ditunjukkan pada persamaan reaksi berikut:

- a) Disolusi Ca(OH)_2 menjadi ion Ca^{2+} dan OH^-

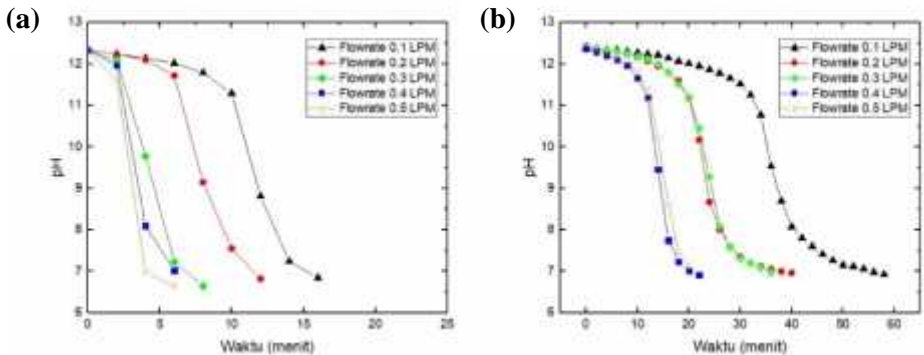
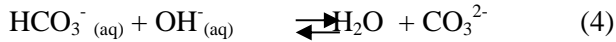


- b) Penyerapan CO_2 di dalam air





c) Reaksi ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-}



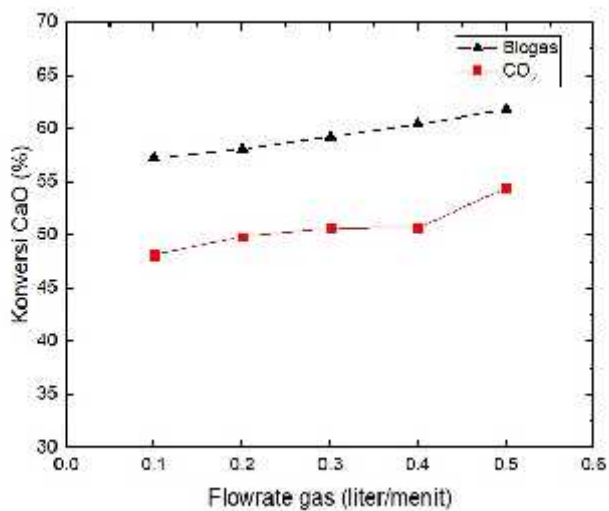
Gambar IV.1 Perubahan pH terhadap waktu karbonasi.
(a) CO_2 murni (b) Biogas.

Perubahan pH ketika proses karbonasi dibagi menjadi dua tahap: (1) laju penyerapan konstan dan (2) laju penurunan penyerapan (*falling rate*). Laju konstan terjadi ketika lebih dari 75% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berubah menjadi partikel PCC seiring dengan penambahan CO_2 yang diberikan ke dalam larutan sedangkan tahap (*falling rate*) terjadi saat pembentukan partikel PCC selesai. Menurunnya pH dengan cepat tergantung pada tingkat penurunan CO_2 . Hal ini menunjukkan bahwa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bereaksi secara sempurna. Pada tahap pertama, pH larutan tidak menurun karena laju penyerapan CO_2 lebih rendah daripada laju disolusi $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Perubahan pH larutan pada karbonasi telah dipelajari pada penelitian sebelumnya oleh Bang et al 2011. Daerah *hatched region* (HR) diidentifikasi dengan perubahan pH yang curam.

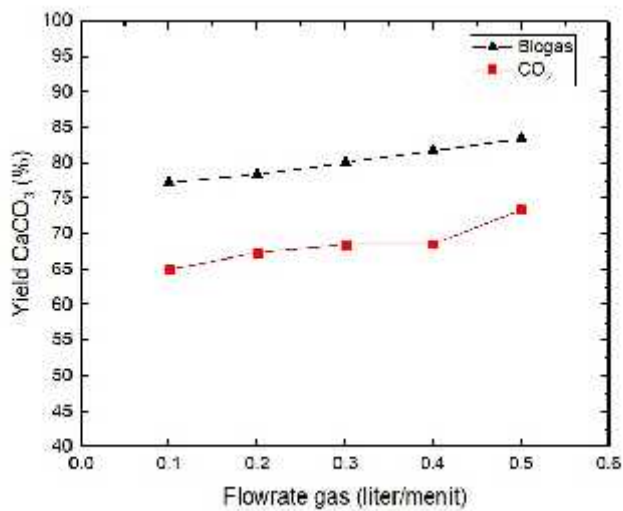
Kecenderungan pH menunjukkan bahwa waktu terpendek yang dibutuhkan untuk mencapai HR terjadi pada laju alir CO_2 yang lebih besar. Kenaikan laju alir CO_2 menyebabkan proses reaksi karbonasi berjalan cepat. Hal ini dapat ditunjukkan pada **Gambar IV.1**. Perubahan pH yang cepat selama reaksi karbonasi terjadi pada CO_2 murni. Hal ini terjadi karena, kandungan CO_2 yang terdapat didalam biogas rendah. Kandungan CO_2 yang rendah pada biogas menyebabkan absorpsi gas CO_2 berjalan lebih lama.

IV.1.2 Pengaruh Laju Alir Gas Terhadap Konversi PCC

CO_2 pada variasi pH memiliki bentuk yang berbeda, yaitu CO_3^{2-} , HCO_3^- , dan H_2CO_3 pada pH > 10, 6 - 10, dan < 6 secara berurutan. Pembentukan ion karbonat yang akan membentuk presipitasi dengan ion kalsium, dominan pada pH diatas 10. Akan tetapi, pada pH yang relatif rendah pembentukan presipitasi akan semakin berkurang dengan adanya H_2CO_3 tanpa adanya ion bikarbonat dan karbonat. Sedangkan pada pH netral, ion bikarbonat terbentuk dan sulit membentuk karbonat dengan ion *divalent* sehingga akan sulit terbentuknya presipitasi membentuk CaCO_3 . Pada awal reaksi, ion kalsium dari larutan Ca(OH)_2 bereaksi dengan CO_3^{2-} membentuk CaCO_3 pada pH yang masih tinggi karena masih tersedianya ion hidroksida yang dapat menjaga tingkat pH dalam larutan. Ketika pH turun keberadaan CO_3^{2-} semakin berkurang dan membentuk HCO_3^- sehingga pembentukan presipitasi akan semakin berkurang. Saat laju alir gas meningkat, CO_2 yang dipasok semakin besar dan meningkatkan stabilitas pH dengan adanya CO_3^{2-} . Sehingga pada laju alir gas yang semakin banyak akan meningkatkan pembentukan CaCO_3 . Hal ini seperti yang ditunjukkan pada **Gambar IV.3**.



Gambar IV.2 Konversi CaO terhadap laju alir gas.



Gambar IV.3 Yield CaCO₃ terhadap laju alir gas.

Disamping itu, *gas hold up* merupakan faktor yang bisa digunakan untuk mengetahui pengaruh laju alir terhadap konversi PCC. Dimana, semakin tinggi laju alir gas akan meningkatkan *gas hold up* yang terdapat dalam kolom. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Shohei et al 2015. sehingga berakibat pada peningkatan jumlah gas yang tertahan di dalam kolom gelembung dan ini merupakan variabel kunci yang menentukan seberapa kuat kontak antara gas dengan cairan. Karena dengan meningkatnya gas yang tertahan di dalam kolom akan mencegah gas terlepas dari larutan dengan cepat sehingga meningkatkan kelarutan CO_2 di dalam larutan.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa kandungan biogas terdiri dari 69% metana dan 31% karbon dioksida. Adanya kandungan dan kelarutan metana (0.00175 gram gas/gram air) yang besar, akan menjadikan inert dalam proses absorpsi CO_2 dalam larutan sehingga membatasi ruang gerak gas CO_2 untuk bereaksi dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ meskipun gas metana tidak bereaksi dan mempengaruhi proses karbonasi melainkan berpengaruh terhadap waktu penyerapan. Sehingga, konversi PCC yang dihasilkan menjadi lebih banyak. Gas metana dalam biogas tidak memiliki kemungkinan untuk diserap oleh larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Gas CO_2 memiliki sifat asam dan polar sehingga akan terjadi reaksi kimia dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bersifat basa. Sebaliknya gas metana memiliki sifat netral. Struktur pada gas metana yang berbentuk tetrahedral menjadikan gas metana bersifat non-polar Rashed et al 2015. Seperti yang terlihat pada **Gambar IV.3**.

Jika ditinjau dari tegangan permukaan antara gas CO_2 dan biogas, tegangan permukaan biogas lebih besar dibandingkan CO_2 , hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Wei Yan et al 2001. Dimana tegangan permukaan gas metana pada tekanan 1 atm yaitu 72 mN/m sedangkan gas CO_2 memiliki

tegangan permukaan 68 mN/m. sehingga waktu kontak menjadi lama dan menghasilkan konversi yang lebih banyak.

IV.1.3 Pengaruh Laju Alir Gas Terhadap Penyerapan CO₂

Secara umum dengan peningkatan laju alir gas pada distributor dengan diameter 0.5 mm menunjukkan penurunan kandungan CO₂ dan kenaikan kandungan metana dari yang masuk. Akan tetapi jika ditinjau dari berkurangnya CO₂ dengan adanya peningkatan laju alir gas menunjukkan bahwa penurunan terbesar ditunjukkan pada laju alir 0.1 LPM dan ketika laju alir ditingkatkan menunjukkan penurunan kandungan CO₂ yang kecil pada laju alir 0.5 LPM. Pada laju alir 0.1 LPM memiliki penurunan optimum jika dibandingkan dengan laju alir yang lebih besar. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi penyerap yang sama dengan peningkatan laju alir gas akan menurunkan kemampuan menyerap pada larutan Ca(OH)₂. Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel IV.1**.

Tabel IV.1 Kandungan CO₂ dan CH₄ ketika pH 8 secara teoritis

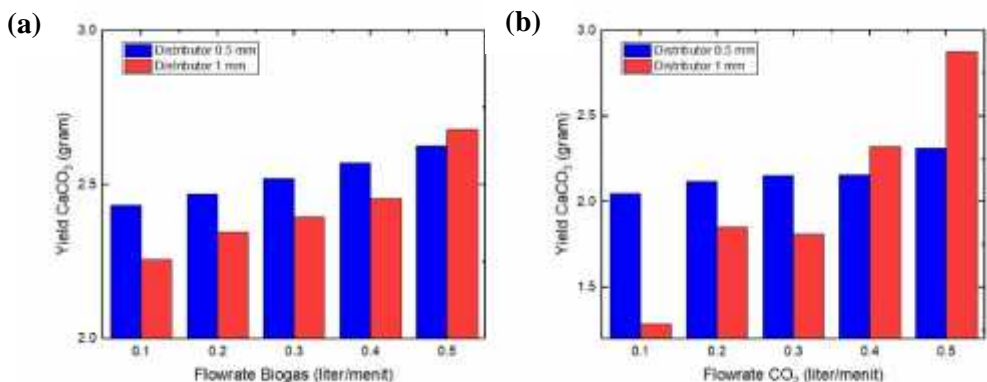
| Laju alir (L/menit) | Fraksi CO ₂ masuk | Fraksi CO ₂ keluar | Fraksi CH ₄ masuk | Fraksi CH ₄ keluar |
|------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0.1 | 0.31 | 0.0728 | 0.69 | 0.9272 |
| 0.2 | | 0.1238 | | 0.8762 |
| 0.3 | | 0.1318 | | 0.8682 |
| 0.4 | | 0.1336 | | 0.8664 |
| 0.5 | | 0.2833 | | 0.7166 |

Dalam penelitian yang dilakukan Rashed et al 2015 melaporkan bahwa dengan adanya peningkatan konsentrasi penyerap (larutan Ca(OH)₂) pada laju alir gas yang sama menunjukkan penurunan kandungan CO₂ yang semakin besar. Peningkatan konsentrasi penyerap memberikan pengaruh yang

besar dibandingkan dengan peningkatan laju alir gas yang diberikan.

IV.2 Pengaruh Diameter *Perforated Gas Distributor* Terhadap Rendemen PCC

Penggunaan distributor gas berdiameter 0.5 mm memiliki jumlah luas permukaan yang lebih kecil daripada distributor gas berdiameter 1 mm sehingga *superficial velocity gas* yang dihasilkan oleh distributor gas berdiameter 0.5 mm lebih besar dan berdampak pada waktu kontak menjadi lebih singkat. Namun dalam penelitian ini rendemen PCC yang dihasilkan menggunakan distributor gas berdiameter 0.5 mm lebih besar dibandingkan distributor 1 mm. Hal ini disebabkan karena tegangan permukaan gelembung meningkat dengan adanya gelembung kecil yang melewati distributor gas berdiameter 0.5 mm sehingga waktu kontak dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan menjadi lebih lama. Kondisi ini menyebabkan peningkatan kelarutan CO_2 dalam larutan. Akan tetapi gelembung besar yang dihasilkan dengan distributor gas berdiameter 1 mm memiliki tegangan permukaan yang lebih kecil sehingga mudah lepas dari larutan dikarenakan adanya gaya apung,



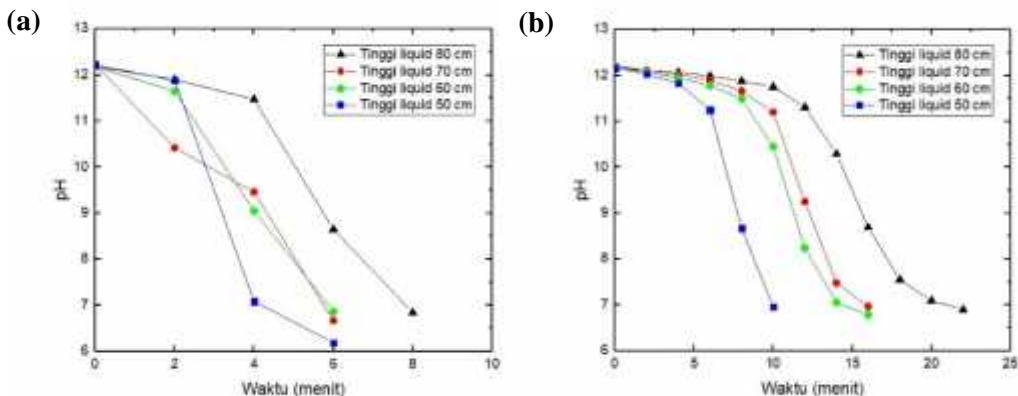
Gambar IV.4 Pengaruh diameter distributor terhadap rendemen PCC. (a) biogas (b) CO_2 .

Secara umum seperti yang terlihat pada **Gambar IV.4** penggunaan biogas dan CO_2 menghasilkan rendemen PCC lebih banyak ketika menggunakan distributor gas berdiameter 0.5 mm. akan tetapi, penyimpangan terjadi ketika biogas yang digunakan pada laju alir 0.5 liter/menit, dimana, rendemen PCC yang dihasilkan pada distributor gas berdiameter 0.5 mm lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan distributor gas berdiameter 1 mm. Penyimpangan ini disebabkan oleh adanya peningkatan *gas hold up* ketika laju alir ditingkatkan. Penggunaan dengan menggunakan distributor yang lebih kecil akan memberikan pengaruh yang kecil terhadap *gas hold up* nya karena hambatan yang diberikan dengan distributor gas berdiameter 0.5 mm lebih kuat dibandingkan dengan distributor gas berdiameter 1 mm sehingga *gas hold up* yang dihasilkan lebih rendah. Hal ini juga terjadi pada penggunaan gas CO_2 pada laju alir 0.4 dan 0.5 liter/menit.

IV.3 Pengaruh Ketinggian Larutan Ca(OH)_2

IV.3.1 Pengaruh Ketinggian Larutan Ca(OH)_2 terhadap perubahan pH

Perpindahan massa merupakan hal yang penting dalam proses penyerapan. Penyerapan yang baik salah satunya dipengaruhi oleh luas permukaan yaitu dengan meningkatkan luas kontak. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar IV.5**, adanya peningkatan ketinggian larutan Ca(OH)_2 berdampak pada perubahan pH menuju netral yang lebih lama. Peningkatan ketinggian larutan menyebabkan penurunan *superficial gas velocity*. Hal ini disebabkan karena waktu tinggal gelembung gas menjadi panjang dengan adanya ketinggian sehingga menyebabkan peningkatan diameter gelembung rata-rata karena koalesensi gelembung Shohei et al 2015.

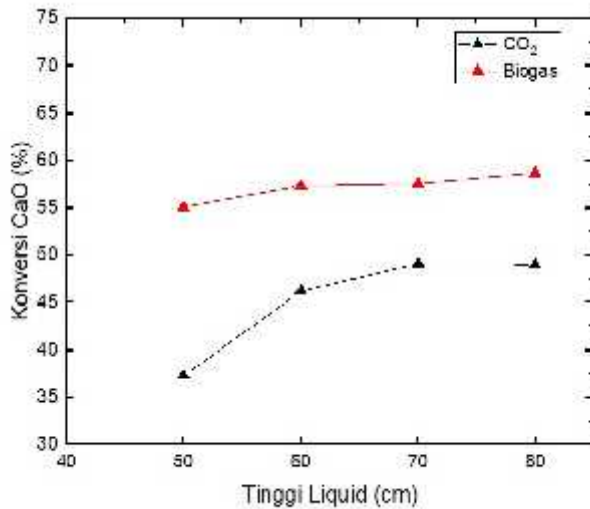


Gambar IV.5 Perubahan pH terhadap waktu karbonasi. (a) CO₂ murni (b) Biogas.

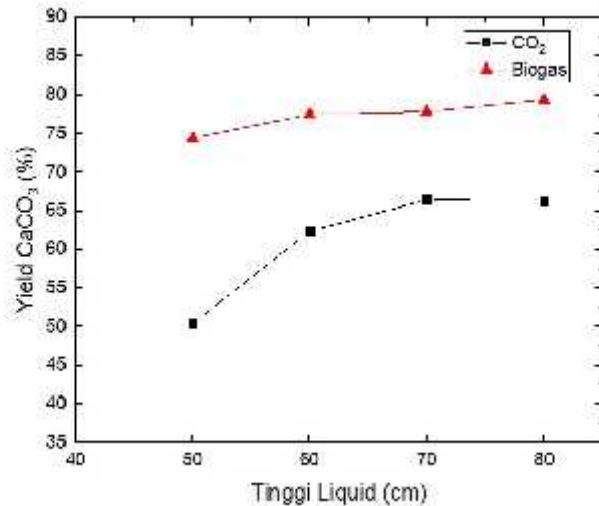
IV.3.2 Pengaruh Ketinggian Larutan Ca(OH)₂ terhadap konversi PCC

Untuk mengetahui pengaruh ketinggian larutan terhadap konversi PCC, maka dilakukan perbandingan ketinggian antara 50, 60, 70, dan 80 cm pada laju alir 0.5 liter/menit. dimana, semakin tinggi larutan hasil konversi yang diperoleh semakin banyak. Dengan adanya peningkatan ketinggian larutan akan mengakibatkan jumlah gas CO₂ terserap lebih banyak karena waktu karbonasi menjadi lebih lama dan *interfacial area* yang dihasilkan lebih besar. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Xiu Liu et al 2015. Hal ini berbeda dengan hasil yang didapatkan pada pengaruh laju alir terhadap konversi PCC. Semakin tinggi laju alir, konversi PCC yang dihasilkan banyak walaupun waktu kontak singkat. Perbedaan hasil tersebut dipengaruhi oleh tekanan hidrostatik pada ketinggian larutan yang tinggi. Karena pada tekanan hidrostatik yang tinggi akan meningkatkan ketahanan gas untuk tidak mudah lepas ke atmosfer. Seperti yang terlihat pada **Gambar IV.6** dan **IV.7**.

Hal ini juga berlaku pada penggunaan gas CO_2 dan biogas yang digunakan. Dimana secara umum menunjukan semakin meningkatnya ketinggian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ maka konversi PCC yang dihasilkan banyak.



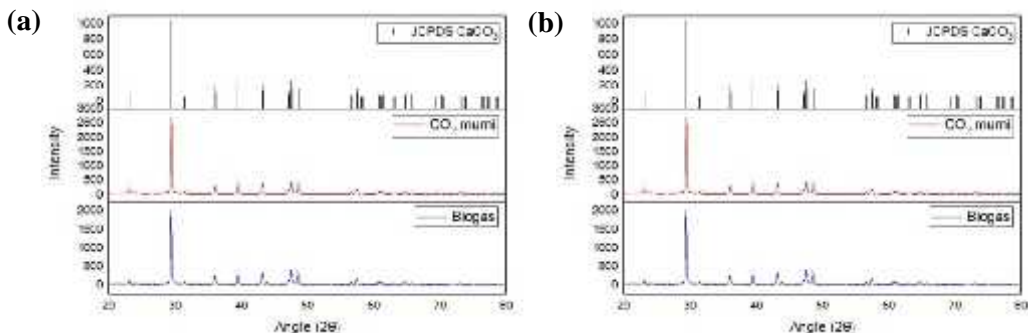
Gambar IV.6 Konversi CaO terhadap tinggi *liquid*.



Gambar IV.7 Yield CaCO₃ terhadap tinggi *liquid*.

IV.4 Kristalinitas PCC

Dari beberapa sampel PCC, dilakukan karakterisasi kristalinitas dengan sinar X atau XRD (*Xray Diffraction*). Pola XRD (**Gambar IV.8**) baik laju alir gas 0.1 dan 0.2 LPM menunjukkan puncak (*peak*) pada $2\theta = 23.1, 29.4, 34.2, 36, 39.5, 43.2, 47.6, 48.6, 57.6, 60.9, \text{ dan } 64.9$. Puncak tersebut memperlihatkan fase kalsit pada kalsium karbonat yang terbentuk pada proses karbonatasi. Data difraksi ini memiliki kesesuaian dengan standar JCPDS PDF2 standard card (005-0586) (Mineral Powder Diffraction File Data Book ICDD No.5-586). Data ini diperoleh dengan memvalidasi kesesuaian tersebut menggunakan *software*.



Gambar IV.8 Hasil analisa XRD PCC pada (a) laju alir 0.1 LPM (b) laju alir 0.2 LPM.

Kesesuaian puncak pada PCC yang dihasilkan pada biogas memiliki jumlah yang lebih sedikit dibandingkan CO_2 yaitu dari 48 jumlah puncak yang tersedia pada standar, hanya 46 puncak yang sesuai. Menurut Patel et al adanya pelebaran puncak XRD mewakili partikel CaCO_3 yang lebih kecil dengan sedikit kristalinitas. dari hasil perhitungan *Scherrer's equation* didapatkan ukuran kristal 8.14 nm dan 6.89 nm pada laju alir biogas 0.1 liter/menit dan 0.2 liter/menit masing-masing. Sedangkan pada laju alir gas CO_2 murni 0.1 liter/menit dan 0.2 liter/menit, didapatkan ukuran kristal 8.144 nm dan 8.143 nm masing-masing. Hal ini disebabkan karena Pada laju alir gas yang semakin meningkat, menyebabkan penyerapan gas CO_2 tidak sempurna, melainkan hanya melewati larutan. Sedangkan hasil yang sama ditunjukkan pada penelitian Jun et al 2011. Semakin besar laju alir gas, ukuran partikel akan semakin kecil.

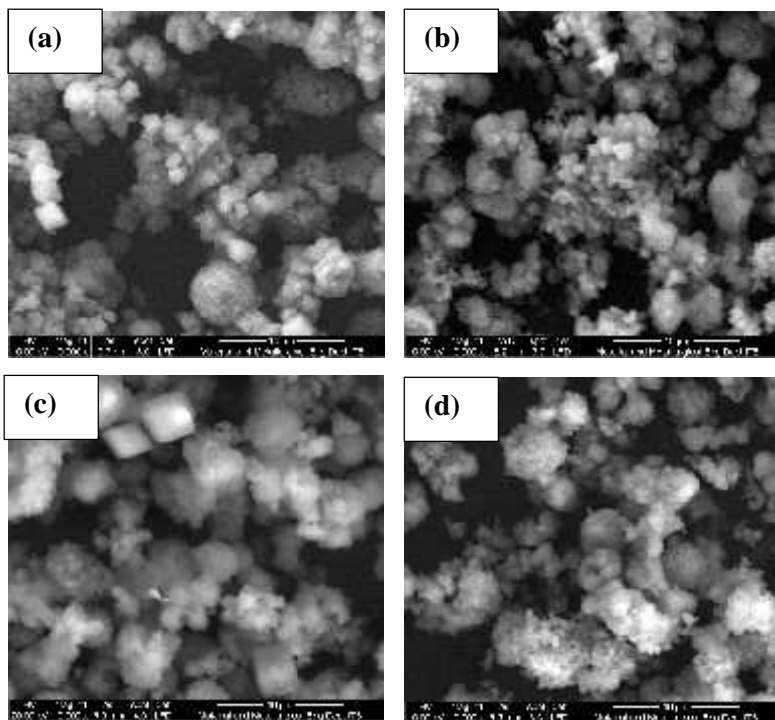
IV.5 Morfologi Partikel PCC

Untuk mengetahui morfologi dari partikel PCC yang terbentuk dilakukan analisa *SEM* (*Scanning Electron Microscope*). Peralatan *SEM* yang dipakai adalah tipe FEI inspect S50, Oregon, United States dengan perbesaran 10,000 – 25,000

kali. Dengan perbesaran tersebut partikel PCC sudah dapat terlihat jelas.

IV.5.1 Pengaruh Laju Alir Gas Terhadap Morfologi PCC

Kalsium karbonat mempunyai tiga bentuk kristal anhidrat yaitu *calcite*, *aragonite*, dan *vaterite*, serta memiliki tiga bentuk hidrat yaitu *amorphous calcium carbonate* (ACC), *mono hydro calcite* ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), dan *ikaite* ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Dari ketiga bentuk kristal anhidrat yang paling stabil secara termodinamika yaitu *calcite*. Berdasarkan hasil analisa morfologi dengan menggunakan SEM seperti pada **Gambar IV.9** menunjukkan dominan morfologi yang identik dengan kalsit yaitu berbentuk rhombohedral atau kubus akan tetapi, ada beberapa yang menunjukkan vaterit atau heksagonal.



Gambar IV.9 Hasil analisa SEM PCC pada variabel laju alir (a) laju alir 0.1 LPM (b) laju alir 0.2 LPM (c) laju alir 0.3 LPM dan (d) laju alir 0.4 LPM.

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Gopi et al 2013. proses kristalisasi CaCO_3 diawali dengan pembentukan ACC yang secara termodinamik tidak stabil, kemudian membentuk kristal secara spontan ketika berada didalam larutan pada temperatur ambien. ACC akan bertransformasi menjadi *calcite* melalui *vaterite* pada temperatur rendah ($< 30^\circ\text{C}$). Akan tetapi proses ini tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur saja melainkan juga laju alir gas yang mempengaruhi perubahan pH menuju pH 7. Matsumoto et al 2004. melaporkan bahwa saat pH

larutan lebih dari 7, *vaterite* terbentuk dengan selektivitas tinggi dengan adanya peningkatan laju alir gas. Selain itu ketika pH kurang dari 7, pembentukan *vaterite* menurun dikarenakan oleh pembentukan CaCO_3 yang terurai. Seperti yang telah di jelaskan pada sub bab sebelumnya, pembentukan ion karbonat atau CO_3^{2-} dominan saat pH diatas 10. Pada laju alir yang tinggi, ketersediaan ion karbonat akan terus dipasok seiring dengan bertambahnya CO_2 karena laju alir yang meningkat. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Han et al. yang melaporkan bahwa ketika laju alir rendah, konsentrasi CO_3^{2-} dalam larutan rendah dan mempercepat terurainya *vaterite*, sehingga lebih banyak partikel *calcite* yang terbentuk. Sebaliknya, pada laju alir tinggi, proses terurainya *vaterite* menjadi *calcite* tidak berjalan dengan sempurna dikarenakan konsentrasi CO_3^{2-} dalam larutan tinggi.

Merujuk penelitian oleh Wang et al 2004 yang menyatakan bahwa ketika terjadi penurunan laju alir gas CO_2 , rasio supersaturasi dalam zona interfasa menurun dengan menurunnya konsentrasi CO_3^{2-} di dalam zona interfasa. Rasio supersaturasi yang lebih rendah memberikan kerugian pada nukleasi CaCO_3 sehingga menyebabkan pembentukan kristal yang homogen sehingga dapat disimpulkan rasio supersaturasi yang rendah di dalam zona interfasa yang disebabkan oleh laju alir CO_2 rendah.

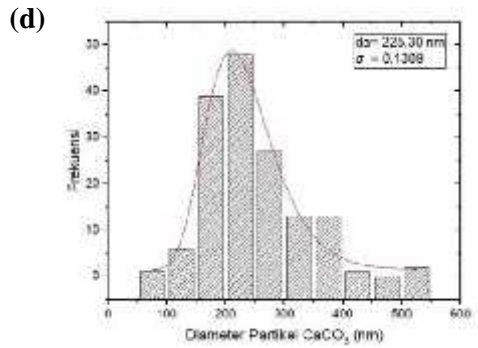
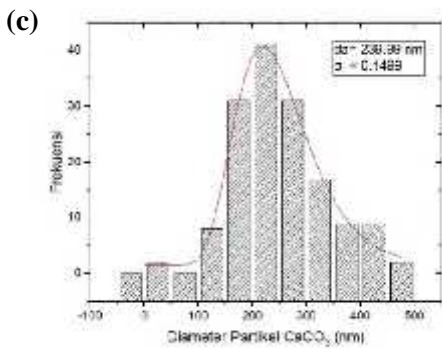
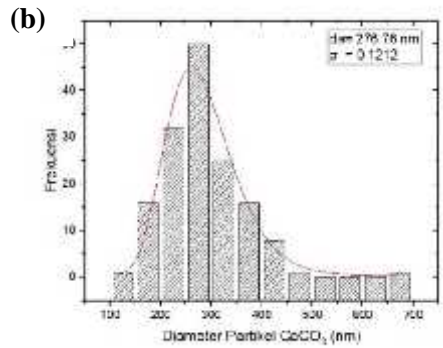
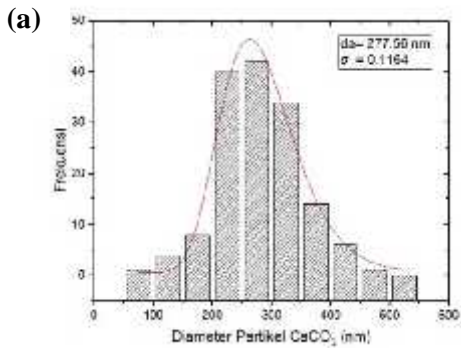
Dari **Gambar IV.9** menunjukkan adanya agglomerasi pada PCC hal ini disebabkan adanya ikatan kristal yang terbentuk saat pembentukan kristal atau kristalisasi. Yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konsentrasi Ca(OH)_2 dan waktu reaksi karbonasi (*residence time*). Partikel yang padat dan disperse sangat diinginkan dalam industri dibandingkan partikel yang teraglomerasi. Karena partikel yang teraglomerasi memiliki penampang tumbukan yang jauh lebih besar daripada partikel bola yang rapat dari volume yang sama. Ketika aglomerat terbentuk, maka akan dengan cepat menarik partikel-partikel kecil lainnya menjadi bentuk partikel yang besar dan dominan. Dalam banyak teknologi sintesis partikel, partikel pada awalnya terbentuk pada

suhu tinggi dimana partikel terkoagulasi dengan cepat. Jika waktu untuk koalesensi itu kecil dibandingkan dengan waktu antara tumbukan, partikel padat (disperse) akan tumbuh. Jika waktu koalesensi sangat panjang dibandingkan dengan waktu antara tumbukan, agregat akan terbentuk, namun leher antara partikel primer akan tetap kecil, dan aglomerat dapat dipecah dalam pemerosesan selanjutnya.

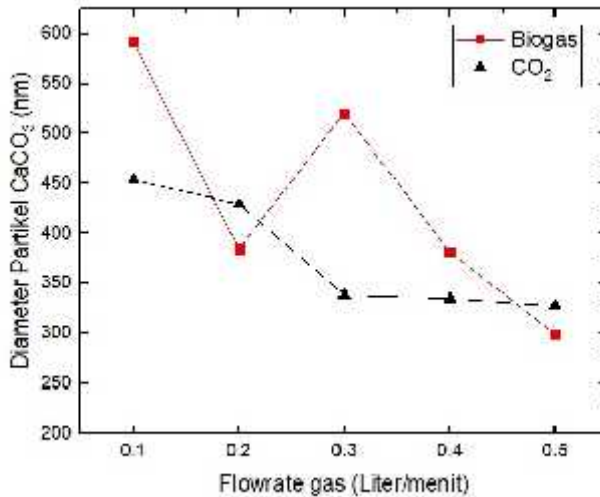
IV.5.2 Pengaruh Laju Alir Gas Terhadap Ukuran Partikel

Pengaruh laju gas CO₂ pada ukuran partikel kalsium karbonat diamati pada laju alir CO₂ dan biogas yang bervariasi antara 0.1 sampai 0.5 LPM pada suhu ruang (30°C). Berdasarkan hasil SEM yang didapatkan dan diolah menggunakan *software image processing*, maka diperoleh ukuran partikel. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar IV.10**, ukuran partikel semakin kecil seiring dengan peningkatan laju alir gas. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada laju alir gas 0.1 LPM, 0.2 LPM, 0.3 LPM, 0.4 LPM, dan 0.5 LPM menghasilkan ukuran partikel rata-rata 277.56 nm, 276.76 nm, 239.99 nm, dan 225.30 nm. Hasil berbeda ditunjukkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Triveni et al. Pada penelitiannya, dengan adanya peningkatan laju alir gas akan menghasilkan ukuran partikel yang semakin besar. Pada laju alir gas yang semakin meningkat, menyebabkan penyerapan gas CO₂ tidak sempurna, melainkan hanya melewati larutan. Sedangkan hasil yang sama ditunjukkan pada penelitian Jun et al 2011. Semakin besar laju alir gas, ukuran partikel akan semakin kecil. Dalam penelitiannya, disebutkan bahwa laju alir tidak memberikan pengaruh yang signifikan ketika *gas distributor* digunakan.

ukuran PCC yang dihasilkan melalui proses karbonasi ini secara komersial dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri secara komersial. Dimana, ukuran yang memenuhi syarat di industri yaitu berkisar 200 nm hingga 5000 nm tergantung pada jenis penggunaannya.



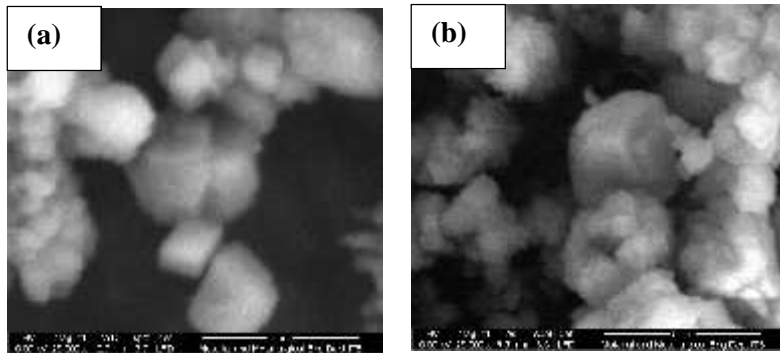
Gambar IV.10 Distribusi partikel PCC pada variabel laju alir (a) laju alir 0.1 LPM (b) laju alir 0.2 LPM (c) laju alir 0.3 LPM dan (d) laju alir 0.4 LPM



Gambar IV.11 Pengaruh laju alir gas terhadap diameter partikel

IV.5.3 Pengaruh Diameter *Perforated Gas Distributor* Terhadap Morfologi PCC

Berdasarkan hasil analisa morfologi dengan menggunakan *SEM* seperti pada **Gambar IV.12** menunjukkan morfologi yang identik dengan *calcite* yaitu berbentuk rhombohedral atau kubus. Dari kedua gambar tersebut menunjukkan adanya agglomerasi pada *PCC* hal ini disebabkan adanya ikatan kristal yang terbentuk saat pembentukan kristal atau kristalisasi. Yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konsentrasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan waktu reaksi karbonasi (*residence time*).



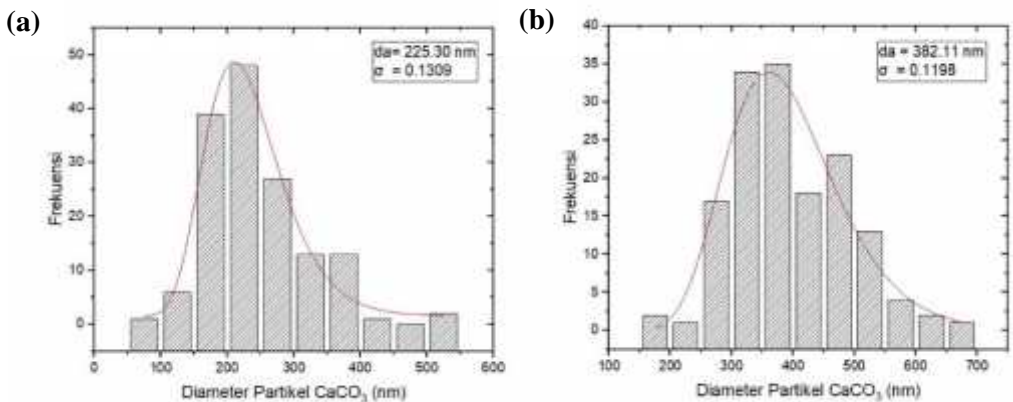
Gambar IV.12 Hasil analisa *SEM* PCC pada laju alir 0.4 LPM. (a) distributor 0.5 mm (b) distributor 1 mm.

Sementara itu, variasi diameter PGD tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap morfologi PCC yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena transformasi morfologi dari *aragonite* ke *calcite* sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi, seperti suhu, tekanan, laju alir, dan penambahan zat aditif.

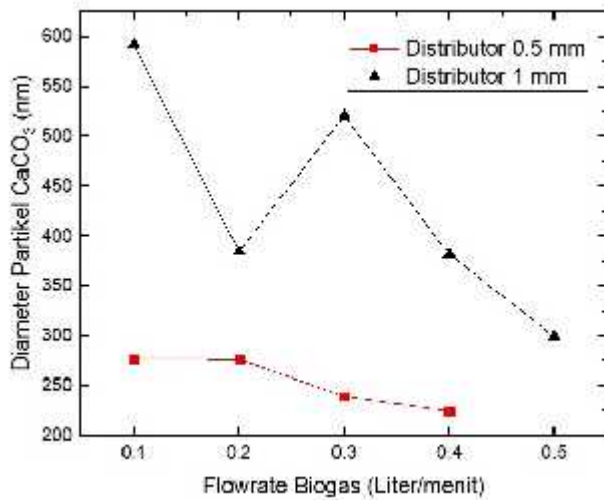
IV.5.4 Pengaruh Diameter *Perforated Gas Distributor* (PGD) Terhadap Ukuran Partikel

Pengaruh diameter *Perforated Gas Distributor* pada ukuran partikel kalsium karbonat dilakukan dengan PGD berdiameter 0.5 dan 1 mm. Berdasarkan hasil SEM yang didapatkan dan diolah menggunakan *software image processing*, maka diperoleh ukuran partikel. Berdasarkan **Gambar IV.13** yang diperoleh dari gambar SEM dan diolah menggunakan *software image processing* menunjukkan bahwa PCC yang dihasilkan dengan menggunakan distributor gas diameter 0.5 mm pada laju alir biogas 0.4 liter/menit memiliki ukuran partikel rata-rata 225.30 nm sedangkan pada distributor gas diameter 1 mm memiliki ukuran partikel rata-rata 382.11 nm. Rata-rata partikel yang dihasilkan oleh gas distributor berdiameter 0.5 mm memiliki rata-rata dibawah 300 nm seperti yang ditunjukkan pada **Gambar**

IV.14. Gas CO_2 yang dihasilkan oleh distributor gas dengan diameter lebih kecil menghasilkan gelembung dengan luas permukaan yang kecil dan meningkatkan reaksi antara gas dan larutan sehingga ukuran partikel PCC yang dihasilkan lebih kecil. Distributor gas berdiameter kecil akan meningkatkan waktu kontak CO_2 dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ meskipun sumber suspensi yaitu larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ memiliki konsentrasi yang rendah.



Gambar IV.13 Distribusi partikel PCC pada laju alir 0.4 LPM (a) distributor 0.5 mm (b) distributor 1 mm.



Gambar IV.14 Pengaruh laju alir gas terhadap diameter partikel

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Laju alir gas berpengaruh terhadap lama waktu proses karbonasi, konversi PCC, dan penyerapan CO₂. Laju alir gas 0.5 LPM membutuhkan waktu yang paling singkat. Perubahan pH yang singkat selama reaksi karbonasi terjadi pada CO₂ murni. Kandungan CO₂ yang rendah pada biogas menyebabkan reaksi karbonasi berjalan lebih lama. Laju alir gas yang semakin meningkat akan meningkatkan pembentukan PCC dan laju penyerapan CO₂.
2. Distributor dengan lubang berdiameter 0.5 mm memiliki pengaruh yang kuat terhadap rendemen PCC yang dihasilkan daripada 0.1 mm. Hal ini terjadi disebabkan karena pengaruh *gas hold up* ketika laju alir ditingkatkan sehingga memberikan hasil yang berbeda terhadap rendemen yang dihasilkan.
3. Tinggi larutan Ca(OH)₂ berpengaruh terhadap lama waktu proses karbonasi, dan konversi PCC. Peningkatan ketinggian larutan Ca(OH)₂ berdampak pada perubahan pH menuju netral menjadi lebih lama dan konversi PCC yang dihasilkan lebih banyak.
4. Metode karbonasi dengan menggunakan kolom gelembung dan biogas berhasil digunakan untuk mensintesis PCC. Teknik karakterisasi seperi analisa XRD menunjukkan adanya fasa kalsit di setiap puncak intensitasnya.
5. Berdasarkan hasil analisa morfologi dengan menggunakan SEM menunjukkan dominan morfologi yang identik dengan kalsit yang berbentuk rhombohedral atau kubus.
6. Peningkatan laju alir gas berdampak pada ukuran partikel yang dihasilkan semakin kecil.

7. Variasi lubang diameter *perforated distributor gas* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap morfologi PCC yang dihasilkan.
8. PCC yang dihasilkan dengan menggunakan distributor gas diameter 0.5 mm pada laju alir biogas 0.4 liter/menit memiliki ukuran partikel rata-rata 225.30 nm sedangkan pada distributor gas diameter 1 mm memiliki ukuran partikel rata-rata 382.11 nm.
9. Metode ini dapat digunakan sebagai alternatif dalam pemurnian biogas yang disertai dengan pembentukan *Precipitated Calcium Carbonate* yang secara komersil sudah memenuhi kualitas kebutuhan industri. Dimana, ukuran yang memenuhi syarat di industri yaitu berkisar 200 nm hingga 5000 nm tergantung pada jenis penggunaannya.

V.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya:

1. Gas yang masuk sebelum atau sesudah proses karbonasi perlu dilakukan analisa secara *real time* pada waktu tertentu disertai pengamatan pH dengan waktu yang sama.
2. Sistem proses karbonasi dapat dibuat sistem kontinyu untuk mengetahui kemampuan maksimum dalam penyerapan CO_2 sehingga didapatkan biogas dengan kandungan metana yang tinggi.
3. Peningkatan konsentrasi larutan Ca(OH)_2 memberikan pengaruh yang besar terhadap penyerapan dibandingkan laju alir yang gas diberikan,

DAFTAR PUSTAKA

- Bang, J.-H., Jang, Y. N., Kim, W., Song, K. S., Jeon, C. W., Chae, S. C., ... Lee, M. G. (2011). Precipitation of calcium carbonate by carbon dioxide microbubbles. *Chemical Engineering Journal*, 174(1), 413–420.
- Bang, J. H., Song, K., Park, S., Jeon, C. W., Lee, S. W., & Kim, W. (2015). Effects of CO₂ bubble size, CO₂ flow rate and calcium source on the size and specific surface area of CaCO₃ particles. *Energies*, 8(10), 12304–12313.
- Boyjoo, Y., Pareek, V. K., & Liu, J. (2014). Synthesis of micro and nano-sized calcium carbonate particles and their applications. *J. Mater. Chem. A*, 2(35), 14270–14288.
- Cavenati, S., Grande, C. A., & Rodrigues, A. E. (2005). Upgrade of Methane from Landfill Gas by Pressure Swing Adsorption. *Energy & Fuels*, 19(6), 2545–2555.
- Chen, P. (2008). Absorption of Carbon Dioxide in a Bubble-Column Scrubber. *Greenhouse Gases - Capturing, Utilization and Reduction*, 95–115.
- Cournil, M., & Herri, J. M. (2003). Asymptotic models for gas-liquid crystallization in two-film systems. *AIChE Journal*, 49(8), 2030–2038.
- Cuéllar-Franca, R. M., & Azapagic, A. (2015). Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts. *Journal of CO₂ Utilization*, 9, 82–102.
- D. Deublein and A. Steinhauser, Biogas from waste and renewable resources. Weinheim, Germany: Wiley, (2008)

- De Hullu, J., J. I. W Maasen, P. A. Van Meel, S. Shazad and J. M. P. Vaessen. 2008. Comparing Different Biogas Upgrading Techniques. Technical report DMT Dirkse Milieutechniek
- Grande, C. A., & Rodrigues, A. E. (2007). Layered vacuum pressure-swing adsorption for biogas upgrading. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(23), 7844–7848.
- Han, Y. S., Hadiko, G., Fuji, M., & Takahashi, M. (2006). Factors affecting the phase and morphology of CaCO_3 prepared by a bubbling method. *Journal of the European Ceramic Society*, 26(4–5), 843–847.
- Jimoh, O. A., Ariffin, K. S., Hussin, H. Bin, & Temitope, A. E. (2017). Synthesis of precipitated calcium carbonate: a review. *Carbonates and Evaporites*, pp. 1–16.
- Jimoh, O. A., Otitoju, T. A., Hussin, H., Ariffin, K. S., & Baharun, N. (2017). Understanding the Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Production Mechanism and Its Characteristics in the Liquid-Gas System Using Milk of Lime (MOL) Suspension. *South African Journal of Chemistry*, 70, 1–7.
- Lailiyah, Q., & Baqiya, M. A. (2012). Pengaruh Temperatur dan Laju Aliran Gas CO_2 pada Sintesis Kalsium Karbonat Presipitat dengan Metode Bubbling. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 1(1), B-6.
- Liu, X., Zhou, J., Zhang, Y., Liu, X., Chen, Y., Yong, X., ... Yuan, H. (2015). Continuous process of biogas purification and co-production of nano calcium carbonate in multistage membrane reactors. *Chemical Engineering Journal*, 271, 223–231.
- Maile, I., & Muzenda, E. (2014). A Review of Biogas Purification through Chemical Absorption, 2028, 8–12.

- Maile, O. I., Muzenda, E., & Tesfagiorgis, H. (2017). Chemical Absorption of Carbon Dioxide in Biogas Purification. *Procedia Manufacturing*, 7, 639–646.
- Mamun, M. R. Al, Karim, M. R., Rahman, M. M., Asiri, A. M., & Torii, S. (2015). Methane enrichment of biogas by carbon dioxide fixation with calcium hydroxide and activated carbon. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 0, 1–6.
- Mel, M., Sharuzaman, M. A. H., & Setyobudi, R. H. (2016). Removal of CO₂ from biogas plant using chemical absorption column. *AIP Conference Proceedings*, 1755.
- Ofori-Boateng, C., & Kwofie, E. M. (2009). Water Scrubbing: A Better Option for Biogas Purification for Effective Storage. *World Applied Sciences Journal Environmental Management and Technologies Towards Sustainable Development*, 5(January 2009), 122–125.
- Othman, A., Isa, N., & Othman, R. (2015). Preparation of precipitated calcium carbonate using additive and without additive. *Jurnal Teknologi*, 77(3), 49–53.
- Palmeri, N., Cavallaro, S., & Bart, J. C. J. (2008). Carbon dioxide absorption by MEA: A preliminary evaluation of a bubbling column reactor. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 91(1), 87–91.
- Patel, M. A., Bhanvase, B. A., & Sonawane, S. H. (2013). Production of cerium zinc molybdate nano pigment by innovative ultrasound assisted approach. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(3), 906–913.
- Pinto, M. L., Pires, J., & Rocha, J. (2008). Porous materials prepared from clays for the upgrade of landfill gas. *Journal of Physical Chemistry C*, 112(37), 14394–14402.

- Pipatmanomai, S., Kaewluan, S., & Vitidsant, T. (2009). Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. *Applied Energy*, 86(5), 669–674.
- Sasaki, S., Uchida, K., Hayashi, K., & Tomiyama, A. (2017). Effects of column diameter and liquid height on gas holdup in air-water bubble columns. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 82, 359–366.
- Tai, C. Y., & Chen, C. kuang. (2008). Particle morphology, habit, and size control of CaCO₃ using reverse microemulsion technique. *Chemical Engineering Science*, 63(14), 3632–3642.
- Thriveni, T., Um, N., Nam, S. Y., Ahn, Y. J., Han, C., & Ahn, J. W. (2014). Factors affecting the crystal growth of scalenohedral calcite by a carbonation process. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 51(2), 107–114.
- Zhou, J., Cao, X., Yong, X., Wang, S., Liu, X., Chen, Y., ... Ouyang, P. (2014). Effects of Various Factors on Biogas Purification and Nano-CaCO₃ Synthesis in a Membrane Reactor. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, (53), 1702–1706.

DAFTAR NOTASI

| Notasi | Keterangan | Satuan |
|--------|------------|----------|
| P | Tekanan | atm, bar |
| T | Temperatur | °C, K |
| Flow | Laju alir | L/menit |
| m | Massa | gram |

APPENDIKS

1. Konversi CaO

1. Menentukan mol CaO

$$\text{Massa CaO} = 2.38 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol CaO} &= \frac{\text{massa CaO}}{\text{BM CaO}} \\ &= \frac{2.38 \text{ gram}}{56 \text{ gram/mol}} = 0.0425 \text{ gmol} \end{aligned}$$

2. Menentukan mol CO₂

$$\begin{aligned} \text{Volume CO}_2 &= \text{Flow rate CO}_2 \times \text{Waktu} \\ &= 0.1 \text{ L/menit} \times 20 \text{ menit} \\ &= 2 \text{ L} \\ &= 2000 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol} &= \text{Tekanan} \times \text{Volume} / R \times \text{Temperatur} \\ &= 1 \text{ bar} \times 2000 \text{ cm}^3 / 83.14 \text{ cm}^3 \cdot \text{bar/mol} \cdot \text{K} \times 313.5 \text{ K} \\ &= 0.079 \text{ mol} \end{aligned}$$

3. Reaksi

| | | | | | |
|---|---------------------|---|-----------------|--------|-------------------|
| | Ca(OH) ₂ | + | CO ₂ | → | CaCO ₃ |
| | + H ₂ O | | | | |
| M | 0.0425 | | 0.0635 | - | - |
| R | 0.0205 | | 0.0205 | 0.0205 | 0.0205 |
| S | 0.022 | | 0.043 | | 0.0205 |
| | 0.0205 | | | | |

$$\begin{aligned} 4. \text{Konversi CaO} &= \frac{\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ yang bereaksi}}{\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ mula mula}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.0205}{0.0425} \times 100 \% \\ &= 48.1718 \% \end{aligned}$$

2. Yield CaCO₃

1. Massa CaCO₃ yang terbentuk = 2.0473 gram

$$\begin{aligned} 2. \text{Massa awal Ca(OH)}_2 &= \text{Mol Ca(OH)}_2 \times \text{BM Ca(OH)}_2 \\ &= 0.0425 \text{ mol} \times 74 \text{ gram/mol} \\ &= 3.145 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$3. \text{Yield CaCO}_3 = \frac{\text{Massa CaCO}_3 \text{ yang terbentuk}}{\text{Massa awal Ca(OH)}_2} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2.0473 \text{ gram}}{3.145 \text{ gram}} \times 100 \% \\
 &= 65.097 \%
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Diameter Kristal

Laju alir : 0.1 LPM

Gas yang digunakan : Biogas

Persamaan Sherrer

$$d_{kristal} = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$$

Dimana :

$$K = 0.9$$

$$\lambda = 1.54 \text{ \AA}$$

$$\beta = \sqrt{FWHM \text{ sampel}^2 - FWHM \text{ standar}^2}$$

Karena $FWHM_{\text{standar}}$ sangat kecil maka,

$$\beta = FWHM \text{ sampel}$$

$$= 0.184^\circ$$

$$= 0.184^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ}$$

$$= 0.0032 \text{ rad}$$

$$\theta = \frac{\theta_{\text{maximum peak}}}{2}$$

$$= \frac{29.39^\circ}{2} = 14.695^\circ$$

$$= 14.695^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ}$$

$$= 0.256 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned}
 D_{kristal} &= \frac{0.9 \times 1.54}{0.0032 \times \cos(0.256 \text{ rad})} \\
 &= 8.1429 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

BIODATA PENULIS



Hafizh Pandega Bonifalih, lahir di Balikpapan, 15 Februari 1995. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SD Islamic Village Tangerang (2001-2007), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Plus Islamic Village Tangerang (2007-2010), kemudian dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 78 Jakarta (2010–2013). Sekarang penulis sedang menempuh studi jenjang perguruan tinggi dengan mengambil Departemen S1 Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya. Selama masa Studi, penulis aktif dalam organisasi mahasiswa seperti Lembaga Mahasiswa Jurusan (LMJ) Teknik Kimia FTI-ITS pada 2014/2015. Selain itu, penulis berhasil menyelesaikan Kerja Praktik di PT. Pertamina RU VI Balongan pada 2016. Pada tahun terakhir studi, penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng dan Dr. Kusdianto, S.T., M. Sc. Eng, penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik “Pembangkit Energi dari Ampas Tebu”. Pada semester akhir, penulis mengerjakan skripsi berjudul “Pemurnian Biogas Menjadi Biometana dan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dengan Metode *Bubble Column*”.

Phone : +6281214747724

Email : bonif.pandega@gmail.com

BIODATA PENULIS



Fuad Makarim Imran, lahir di Tokyo, 29 April 1995. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SDN IKIP Makassar (2001-2007), dilanjutkan sekolah menengah pertama di Sri Utama International School (2007-2010), kemudian dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Kharisma Bangsa (2010–2013). Sekarang penulis sedang menempuh studi jenjang perguruan tinggi dengan mengambil Departemen S1 Teknik Kimia FTI-ITS

Surabaya. Selama masa Studi, penulis aktif dalam organisasi mahasiswa seperti Badan Koordinasi Kegiatan Mahasiswa Teknik Kimia Indonesia (BKKMTKI) pada 2016/2017. Selain itu, penulis berhasil menyelesaikan Kerja Praktik di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang pada 2016. Pada tahun terakhir studi, penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng dan Dr. Kusdianto, S.T., M. Sc. Eng, penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik “Pembangkit Energi dari Ampas Tebu”. Pada semester akhir, penulis mengerjakan skripsi berjudul “Pemurnian Biogas Menjadi Biometana dan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dengan Metode *Bubble Column*”.

Phone : +6281214747724

Email : bonif.pandega@gmail.com

